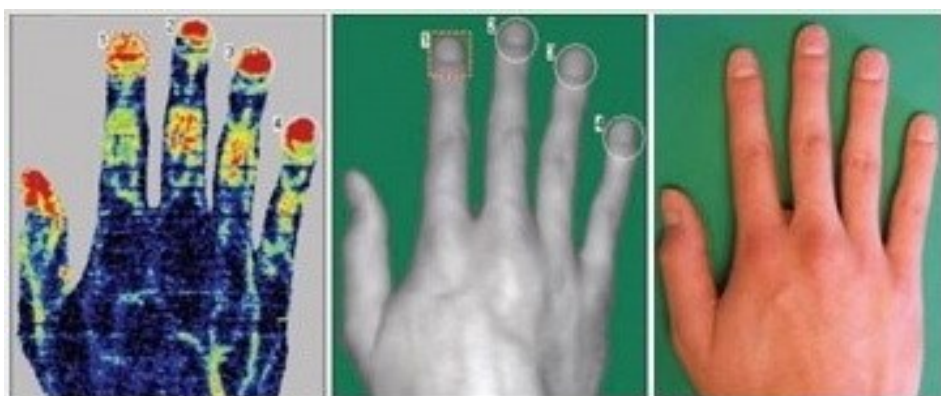


VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

## **Vliv teploty na laserové dopplerovské zobrazování**

Influence of temperature on laser Doppler imaging



VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Koudelka**  
Studijní program: B2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3901R039 Biomedicínský technik  
Téma: **Vliv teploty na laserové dopplerovské zobrazování**  
**Influence of Temperature on Laser Doppler Imaging**

Zásady pro vypracování:

1. Rešerše k obecné problematice laserdopplerovské velocimetrie a zobrazování krevní perfuze (LDPI) a vliv teploty na tento typ zobrazování.
2. Popis klinického přístroje pro LDPI PerisScan PIM 3 firmy Perimed.
3. Návrh a realizace série experimentů, v nichž bude posouzen vliv teploty prostředí a teploty měřeného místa.
4. Formulace hypotéz teplotních vlivů na přesnost, reprodukovatelnost a komparabilitu skenování map krevní perfuze.
5. Návrh doporučení a korekčních postupů, jenž by zaručily standardizaci, spolehlivost a komparabilitu měření krevní perfuze v klinické praxi.
6. Testování navrženého řešení v klinické praxi a zhodnocení dosažených výsledků práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] LEAHY, Martin J. *Microcirculation imaging*. Weinheim: Wiley-Blackwell, c2012, xviii, 393 p. ISBN 978-3527328949.
- [2] HOLMLUND, F., C. FRECCERO, S. BORNMYR, J. CASTENFORS, A.-M. JOHANSSON, J. NORDQUIST, G. SUNDKVIST, H. SVENSSON a P. WOLLMER. Sympathetic skin vasoconstriction - further evaluation using laser Doppler techniques. *Clinical Physiology*. 2001, vol. 21, issue 3, s. 287-291. DOI: 10.1046/j.1365-2281.2001.00331.x. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1046/j.1365-2281.2001.00331.x>.
- [3] ALBRECHT, Heinz-Eberhard et al. *Laser Doppler and Phase Doppler Measurement Techniques*. Berlin: Springer, 2003, 738 s. ISBN 3-540-67838-7.
- [4] MICHALSKI, L. et al. *Temperature measurement*. 2nd ed. New York: J. Wiley, 2001, xv, 501 p. ISBN 0471867799/978-0471867791.
- [5] CHILDS, Peter R.N. *Practical temperature measurement*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001. ISBN 978-0-7506-5080-9.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Iveta Bryjová**

Konzultant bakalářské práce: MUDr. Jiří Štětinský

Datum zadání: 01.09.2014

Datum odevzdání: 07.05.2015



---

doc. Ing. Jiří Koziorek, Ph.D.  
*vedoucí katedry*



---

prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
*děkan fakulty*

## Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Dne 1. května 2015



Jan Koudelka

## **Poděkování**

Rád bych na tomto místě poděkoval paní Ing. Ivetě Bryjové, vedoucí mé bakalářské práce, za všechny náměty, připomínky, cenné rady a ochotu věnovat mi svůj čas. Mé díky patří rovněž MUDr. Jiřímu Štětinskému za odbornou asistenci při měření přístrojem PeriScan PIM 3 na Popáleninovém centru Fakultní nemocnice Ostrava a doc. RNDr. Stanislavu Hledíkovi, Ph.D. za zpracování diferenčních skenů metodou PIPPA.

V neposlední řadě bych pak rád poděkoval svým rodičům i sestře za vytrvalou podporu při mém studiu. A především také svým probandům – babičce Marii, mladé slečně Natálii a mé přítelkyni Janě, která mi navíc byla po celou dobu neskutečnou oporou.

# Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je posoudit vliv teploty na laserové dopplerovské zobrazování s přístrojem PeriScan PIM 3 System. Jelikož tato metoda, založena na Dopplerově efektu, nachází využití mimo jiné i v diagnostice popáleninových traumat, měl by závěr experimentálního měření posloužit k doplnění standardizace celého procesu pořizování jednotlivých skenů na Popáleninovém centru Fakultní nemocnice Ostrava.

Vzhledem k tématu, bude teoretická část bakalářské práce zaměřena na oblast laserové optiky, teploty (jako fyzikální veličiny) a zmíněny budou také možné vlivy biologicky účinných látek (léků) na chybu měření. V praktické části práce budou uvedeny výsledky experimentálních klinických měření s vyhodnocením výsledků a návrhem standardu měření pro zobrazování laserovou dopplerometrií s ohledem na ambientní teplotní vlivy.

**Klíčová slova:** LDI, LDPI, laserový dopplerovský zobrazovač, laserové dopplerovské zobrazování, LDI a popáleniny, vliv teploty na laserové dopplerovské zobrazování, teplota a laserové dopplerovské zobrazování a popáleniny, LDI a vazokonstriktory, LDI a zahřívání

# Abstract

The aim of this bachelor's work is to assess the effect of temperature on laser Doppler imaging device PeriScan PIM 3 System. This method which is based on a Doppler effect finds application inter alia in the diagnosis of burn traumas. That's why the conclusion of this experimental measurements should be the complement to standardization of the entire process of acquiring individual scans at the Burn center in the University Hospital Ostrava.

The theoretical part of this thesis is focused on the laser optics, temperature (as a physical quantity). And also the effects of biologically active substances (drugs) will be discussed as the possible influence for measurement error. The results of experimental clinical measurements with assessing the results will be given In the practical part. There will be also suggestion of standards for measuring laser Doppler imaging with considering ambient temperature influences.

**Key words:** LDI, LDPI, laser Doppler imager, laser Doppler imaging, LDI and burns, Influence of temperature on laser Doppler imaging, temperature and laser Doppler imaging and burns, LDI and vasoconstrictors, LDI and preheating

## Seznam použitých zkratek

|       |   |
|-------|---|
| LASER | Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (zesilování světla stimulovanou emisí záření) |
| LDPI  | Laser Doppler Perfusion Imaging (zobrazování perfuze laserovou dopplerometrií)                        |
| PU    | Perfusion Unit (perfuzní jednotka)  |
| UV    | Ultraviolet (ultrafialová oblast světelného spektra)  |
| pH    | Pondus Hydrogenia (vodíkový exponent)   |
| SI    | Le Système International d'Unités (soustava jednotek fyzikálních veličin)                             |
| USB   | Universal Serial Bus (univerzální sériová sběrnice)   |
| PDF   | Portable Document Format (přenosný formát dokumentů)  |
| PIPPA | Perfusion Image Progression and Prognosis Assessment (odhad progresu perfuzního obrazu a prognózy)    |
| DSPTA | (Digital Subtraction Perfusion Topography Analysis)   |



# Seznam obrázků

|  |    |
|--|----|
| 2.1. Zjednodušené schéma konstrukce laseru.  | 4  |
| 2.2. Přesun elektronu mezi jednotlivými vrstvami .   | 6  |
| 2.3. Princip funkce laseru.  | 6  |
| 2.4. Dopplerův jev.  | 8  |
| 3.1. Příčný řez kůží.  | 9  |
| 3.2. Podkožní cévní systém.  | 11 |
| 4.1. Příklad různých teplotních stupnic a jejich porovnání.                                | 13 |
| 6.1. Hlavice přístroje PeriScan PIM 3 na pohyblivém rameni.                                | 17 |
| 6.2. Hlavice přístroje PeriScan PIM 3 na pohyblivém rameni.                                | 18 |
| 6.3. Výstup měření zobrazený pomocí softwaru LDPIwin v single mode.                        | 19 |
| 6.4. Výstup měření zobrazený pomocí softwaru LDPIwin v duplex mode.                        | 19 |
| 6.5. Přístroj moorLDI2-HIR pro zobrazování metodou LDPI.                                   | 20 |
| 7.1. Teploměry Fluke Calibration 1523 (vlevo) a ThermoFlash LX-26 (vpravo).                | 21 |
| 9.1. Ukázka chladového testu.  | 23 |
| 11.1. Srovnání skenů pořízených před (vlevo) a po (vpravo) zchlazení horní končetiny.      | 25 |
| 11.2. Srovnání skenů pořízených po zchlazení (vlevo) a po opětovné aklimatizaci (vpravo).  | 26 |
| 11.3. Srovnání skenů pořízených před (vlevo) a po (vpravo) zchlazení horní končetiny.      | 27 |
| 11.4. Srovnání skenů pořízených před (vlevo) a po (vpravo) patnáctiminutové aklimatizaci.  | 28 |
| 11.5. Srovnání skenů pořízených před (vlevo) a po (vpravo) patnáctiminutové aklimatizaci.  | 29 |
| 11.6. Srovnání skenů pořízených před (vlevo) a po (vpravo) patnáctiminutové aklimatizaci.  | 30 |
| 11.7. Srovnání skenů pořízených před (vlevo) a po (vpravo) patnáctiminutové aklimatizaci.  | 31 |
| 11.8. Srovnání skenů pořízených před (vlevo) a po (vpravo) patnáctiminutové aklimatizaci.  | 33 |
| 11.9. Srovnání skenů pořízených před (vlevo) a po (vpravo) patnáctiminutové aklimatizaci.  | 34 |
| 11.10. Srovnání skenů pořízených před (vlevo) a po (vpravo) patnáctiminutové aklimatizaci. | 35 |
| 11.11. Srovnání skenů pořízených před (vlevo) a po (vpravo) patnáctiminutové aklimatizaci. | 36 |

## Seznam tabulek

|   |    |
|---|----|
| 11.1. Hodnoty vztahující se k prvnímu měření s probandem číslo 3.                       | 26 |
| 11.2. Hodnoty vztahující se k prvnímu měření s probandem trpícím Raynaudovým syndromem. | 27 |
| 11.3. Hodnoty vztahující se k druhému měření s probandem číslo 1.                       | 29 |
| 11.4. Hodnoty vztahující se k druhému měření s probandem číslo 2.                       | 30 |
| 11.5. Hodnoty vztahující se k druhému měření s probandem číslo 3.                       | 31 |
| 11.6. Hodnoty vztahující se k druhému měření s probandem číslo 4.                       | 32 |
| 11.7. Hodnoty vztahující se k třetímu měření s probandem číslo 1.                       | 34 |
| 11.8. Hodnoty vztahující se k třetímu měření s probandem číslo 2.                       | 35 |
| 11.9. Hodnoty vztahující se k třetímu měření s probandem číslo 3.                       | 36 |
| 11.10. Hodnoty vztahující se k třetímu měření s probandem číslo 4.                      | 37 |

# Obsah

|  |    |
|--|----|
| • Úvod   | 1  |
| • Teoretická část  |    |
| 1. Rešerše   | 3  |
| 2. Laser Doppler Perfusion Imaging   | 4  |
| 2.1 Fyzikální principy laserového záření   | 4  |
| 2.1.1 Laser  | 4  |
| 2.1.2 Základní součásti laseru   | 4  |
| 2.1.3 Princip funkce laseru  | 5  |
| 2.1.4 Interakce laserového záření s tkání  | 6  |
| 2.2 Dopplerův jev  | 7  |
| 3. Anatomie a fyziologie kůže  | 9  |
| 3.1 Epidermis  | 9  |
| 3.2 Dermis   | 10 |
| 3.3 Tela subcutanea  | 11 |
| 3.4 Podkožní cévní systém  | 11 |
| 3.5 Funkce kůže  | 11 |
| 4. Teplota jako fyzikální veličina   | 13 |
| 4.1 Teplota z pohledu její klasifikace   | 13 |
| 4.2 Teplota organismu  | 13 |
| 4.3 Měření teploty   | 14 |
| • Praktická část – experimentální studie teplotních vlivů na zobrazování pomocí LDPI |    |
| 5. Design studie   | 16 |
| 6. PeriScan PIM 3, jeho software a PIPPA   | 17 |
| 6.1 Konstrukce přístroje PeriScan PIM 3  | 17 |
| 6.2 Možnosti softwaru LDPIwin ve spojení s PeriScan PIM 3                            | 18 |
| 6.3 Single mode  | 18 |
| 6.4 Duplex mode  | 19 |
| 6.5 PIPPA  | 20 |
| 6.6 Konkurenční přístroj pro LDPI snímání  | 20 |
| 7. Další použité měřicí přístroje  | 21 |
| 7.1 Fluke Calibration 1523   | 21 |
| 7.2 ThermoFlash LX-26  | 21 |
| 7.3 Omron M6   | 21 |
| 7.4 Zdroje dalších zaznamenaných údajů   | 21 |
| 8. Demografické údaje probandů   | 22 |
| 8.1 Seznam probandů  | 22 |
| 8.2 Zhodnocení   | 22 |
| 9. Provokační testy  | 23 |
| 9.1 Chladový test  | 23 |
| 10. Etapy měření   | 24 |
| 10.1 Standardní (druhé a třetí) měření   | 24 |

|  |    |
|--|----|
| 10.2 Měření s chladovým testem (první, kontrolní měření)                         | 24 |
| 11. Výsledky   | 25 |
| 11.1 První měření (23. 7. 2014)  | 25 |
| 11.2 Druhé měření (14. 10. 2014)   | 28 |
| 11.3 Třetí měření (14. 2. 2015)  | 33 |
| • Diskuze a závěr – s nástinem pro další výzkum a doporučením pro měření s PIM 3 | 38 |
| • Literatura a jiné zdroje   |    |
| • Seznam příloh  |    |
| • Přílohy  |    |

# Úvod

Lékařská péče patří mezi tu oblast lidské činnosti, jejíž význam pro člověka je odnepaměti právem oceňován každým zdravým, tím spíše nemocným, člověkem. Dobrý tělesný i psychický stav jedince je totiž důležitý, jak pro něj samého, tak pro společnost jako celek. Pokrok v této oblasti je však dnes již většinou otázkou komplexní multioborové spolupráce a nejen vědeckého bádání lékařů.

Medicína se už dávno neopírá pouze o poznatky z biologie, chemie a fyziky, ale stále více se prosazuje také moderní výpočetní technika s informačními technologiemi. Důsledkem toho je i vývoj nových terapeutických a diagnostických lékařských nástrojů. Při návrhu často velice komplikovaných zařízení lze sice počítat se spoustou rozličných faktorů a problémů, které mohou v budoucnu ovlivnit funkci nového přístroje, avšak prakticky se nikdy nelze vyhnout nečekaným událostem, jejichž existence je odhalena teprve při provozu přístroje v reálném provozu.

Zásadní podmínkou pro použití nového zařízení v medicínské praxi je jeho bezpečnost ve vztahu k pacientovi a personálu, který jej ovládá. Pro lékaře je ale také velmi důležité moci se spolehnout na věrnost výsledku získaného takovýmto novým diagnostickým přístrojem. I zařízení PeriScan PIM 3, které bylo v rámci této práce používáno, musí tyto požadavky splňovat. Jeho využití za účelem měření krevní perfuze metodou LDPI (zobrazování perfuze laserovou dopplerometrií) je jednoznačným přínosem v oblasti medicínské diagnostiky, jelikož stav prokrvení kteréhokoliv orgánu je jednou z možností, jak sledovat jeho aktuální funkčnost, která často napoví mnohé i o celkovém stavu organismu. Pokud bychom ale chtěli být konkrétnější, může se třeba jednat o důležitý prognostický parametr při hojení popáleninových defektů.

Jistě tedy má smysl zabývat se odezvou tohoto přístroje, potažmo metody LDPI jako takové, na běžné změny okolních podmínek během jeho provozu. Těmi může být například právě vliv teploty, jež je předmětem této bakalářské práce.

## **Teoretická část**

# 1. Rešerše

Studium relevantních materiálů je pochopitelně základem každé odborné práce, a jelikož metoda LDPI nachází využití ve více medicínských oborech, lze i v tomto případě čerpat z mnoha různých zdrojů. Mimo tradičních databází vědeckých článků a prací, jako jsou například [webofknowledge.com](http://webofknowledge.com), [scopus.com](http://scopus.com), [sciencedirect.com](http://sciencedirect.com), případně také vyhledávače [scholar.google.com](http://scholar.google.com), jsem našel několik zajímavých příspěvků také na webu [burnsjournal.com](http://burnsjournal.com), který se věnuje hlavně tématu popálenin. Co se knižních publikací týče, posloužilo mi několik textů především k ověření mých znalostí anatomie lidského těla a fyzikálních principů nutných pro správnou interpretaci funkce LDPI přístroje

Odkazy na zajímavé a podnětné zdroje informací budou pochopitelně provázet celou moji bakalářskou práci. Z tohoto množství materiálů bych však rád níže vyzdvihnul tři studie, které pro mne byly obzvlášť přínosné.

První z nich je práce zveřejněná v *Journal of Medical Engineering* s názvem **Case studies of laser Doppler imaging system for clinical diagnosis applications and management**. Týká se dvou studií, kde byla aplikována diagnostika s využitím LDPI metody (zobrazení perfuze interfalangeálních kloubů u pacientů s osteoartritidou a perfuze podkožních cév v břišní oblasti při aplikaci akupunktury). V článku je mimo stručného popisu principu LDPI metody také zmíněna určitá standardizace provedených měření. Konkrétně dodržování konstantních tepelných podmínek, aklimatizace měřených subjektů, zajištění klidu a provádění měření v určitou (stejnou) denní dobu za účelem minimalizace vlivu cirkadiálních změn. Ze studií navíc plyne jasný závěr o prospěšnosti této bezkontaktní diagnostické metody [1].

Další článek vydaný v periodiku nakladatelství Elsevier nese název **Laser Doppler assessment of dermal circulatory changes in people with coronary artery disease**. Jedná se o záznam ze studie, která opět dokazuje význam laserové dopplerovské metody v diagnostice. Velmi zajímavé jsou ale především případy, u kterých je toto měření použito. Je při nich totiž záměrně zvyšována perfuze tkání zahříváním, acetylcholinovou iontoforézou nebo reaktivní hyperemií. To poukazuje na možnost zkreslení LDPI diagnostiky při tepelných změnách a užití vazodilatancií (ev. vazokonstrikčních látek) [2].

Třetí práce pak byla zveřejněna opět v periodiku nakladatelství Elsevier pod názvem **Comparison of thermography and laser Doppler imaging in the assessment of Raynaud's phenomenon**. Tato studie byla zaměřena zejména na srovnání termografické a laserové dopplerovské metody při studiu Raynaudova fenoménu. Mimo důležitého faktu, že perfuzi tkání mohou také ovlivnit i specifické nemoci pacienta, je závěrem studie skutečnost dokazující určitý vliv změn teploty (nejen) pacienta při měření LDPI. Z toho plyne, že skutečně má význam se tomuto vlivu dále věnovat [3].

Závěrem rešerše bych ovšem ještě rád zmínil také publikaci **Microcirculation imaging** od profesora Martin J. Leahyho, v níž je problematika týkající se LDPI zobrazování dosti podrobně rozebrána [4].

## 2. Laser Doppler Perfusion Imaging

Laserové dopplerovské zobrazování (LDPI) je neinvazivní metoda vyšetření mikrocirkulace laserovým paprskem založená na Dopplerově jevu. V klinické praxi lze touto metodou například posoudit pravděpodobnost spontánního hojení popáleninového defektu. Samotný přístroj zaznamenává tkáňovou perfúzi vyšetřované oblasti, jednak ve formě dvojrozměrného barevně kódovaného obrazu, ale navíc i v relativní veličině – perfúzních jednotkách (perfusion units, PU) [5].

### 2.1 Fyzikální principy laserového záření

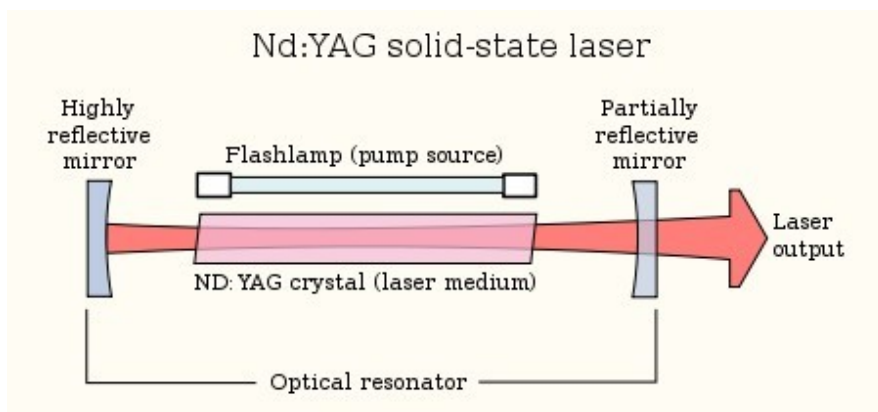
#### 2.1.1 Laser

Laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) je zdroj vysoce koherentního elektromagnetického záření nejčastěji ve viditelné, ultrafialové nebo infračervené oblasti spektra. Vzniká díky stimulované emisi záření aktivních částic (atomů, molekul, iontů, elektronů) buzených vnějším zdrojem energie. Světlo je z laseru vyzařováno ve formě úzkého svazku (nízká divergence) a na rozdíl od světla přirozených zdrojů je koherentní a monochromatické (fotony mají shodnou fázi, resp. stejnou frekvenci). Díky těmto vlastnostem laserového paprsku jím lze soustředit na malé ploše velké množství energie [6, 7].

#### 2.1.2 Základní součásti laseru

Samotný laser je tvořen:

- aktivním prostředím (plyn nebo směs plynů, monokrystal, polovodič s P-N přechodem, organické barvivo atd.)
- rezonátorem (optická dutina vymezená zrcadly)
- zdrojem energie (například výbojka, elektrický proud, chemická reakce a jiné).



**Obrázek 2.1.** Zjednodušené schéma konstrukce laseru [8].



## Aktivní prostředí

– je látka obsahující oddělené kvantové energetické hladiny elektronů, přičemž se může jednat o:

- plyn nebo směs plynů, pak hovoříme o plynových laserech
- monokrystal, kde hladiny vznikají dopováním (pevnolátkové lasery)
- polovodič s P-N přechodem v případě diodových laserů
- organická barviva
- polovodičové multivrstvy – jsou základem kvantových kaskádních laserů (QCL)
- volné elektrony v případě laserů na volných elektronech.

## Rezonátor

Ve většině laserů světlo opakovaně prochází tzv. rezonátorem, což je optická dutina vymezená obvykle dvěma zrcadly. Jedno je zcela odrazivé a druhé částečně propustné – světlo jím vychází z dutiny ven. Některé lasery však rezonátor nepotřebují vůbec a pracují v režimu zesílené spontánní emise, kdy záření stačí jediný průchod k získání dostatečné intenzity. Patří mezi ně např. dusíkový nebo měděný laser.

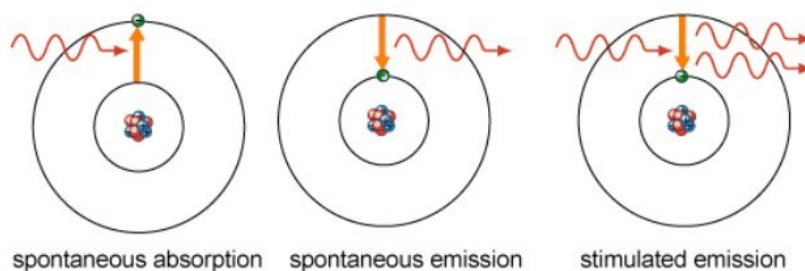
Jako nepropustné zrcadlo se v rezonátoru používá často dielektrické zrcadlo nebo leštěný kov, např. zlato či měď. Existují i případy (laserová dioda), kdy má dostatečnou odrazivost samotné rozhraní aktivního prostředí se vzduchem, jelikož reflexivita rozhraní závisí na indexu lomu materiálu podle tzv. Fresnelových vzorců.

Stabilita záření v rezonátoru závisí na poloměrech křivosti zrcadel a délce rezonátoru. Někdy je tedy výhodné použít, namísto rovinných zrcadel, ta s konkávním nebo konvexním tvarem [6, 8].

### 2.1.3 Princip funkce laseru

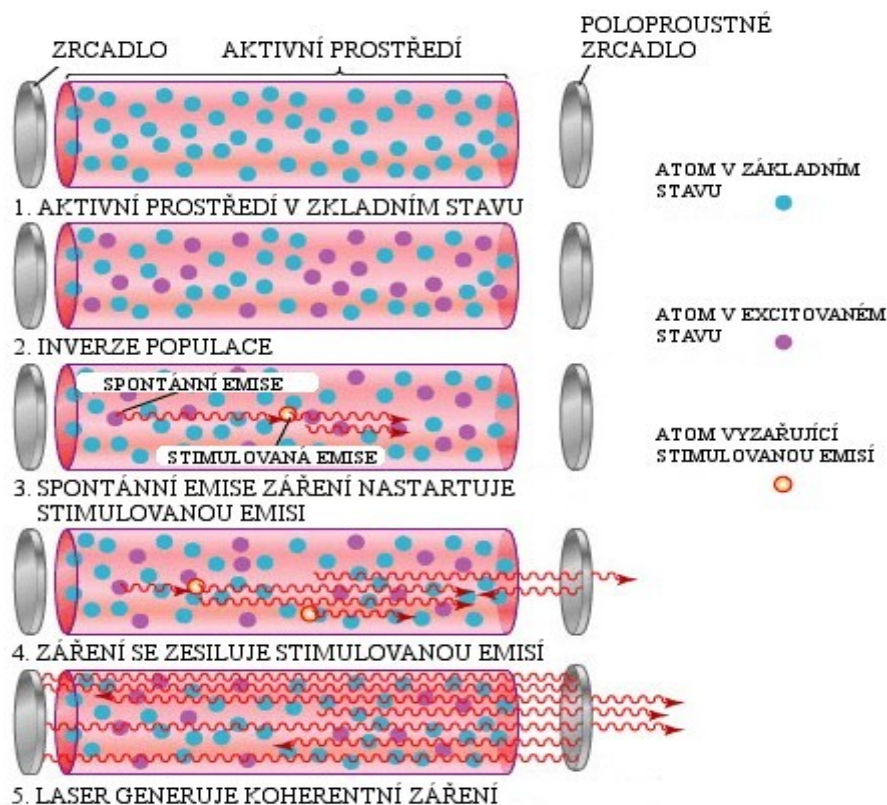
Princip laseru využívajícího zákonů kvantové mechaniky a termodynamiky fyzikálně popsal Albert Einstein už v roce 1917. První funkční laser ovšem vznikl až v roce 1960 a byl představen Theodorem H. Maimanem. Jako aktivní prostředí zde byl použit krystal rubínu.

Jak již bylo zmíněno, tak je laser založen na principu stimulované (vynucené) emise záření. Elektrony v atomech látky aktivního prostředí jsou nejprve zdrojem energie excitovány na horní energetickou hladinu, kde se však neudrží, a v miliontině sekundy přeskočí na hladinu pracovní (metastabilní). Díky slabému impulzu ve formě stimulujícího fotonu dochází k deexcitaci elektronu na základní hladinu, což je spojeno s emisí fotonu stejné vlnové délky a fáze, jaké měl foton stimulující. Takto je do vyšších energetických stavů vybudena většina elektronů aktivního prostředí a vzniká tak tzv. inverze populace.



**Obrázek 2.2.** Přesun elektronu mezi jednotlivými vrstvami [9].

Díky umístění aktivní části laseru do rezonátoru, tvořeného například zrcadly, dochází k odrazu paprsku fotonů a jeho opětovnému průchodu prostředím. To dále podporuje stimulovanou emisi, a tím dochází k exponenciálnímu zesilování toku fotonů. V důsledku toho lavinovitě vznikají identické fotony, které jsou vyzařovány stejným směrem. Výsledný světelný svazek pak opouští rezonátor průchodem skrze výstupní polopropustné zrcadlo [6, 9, 10].



**Obrázek 2.3.** Princip funkce laseru [10].

## 2.1.4 Interakce laserového záření s tkání

Během interakce laserového záření s látkou dochází k fyzikálním procesům: absorpce, reflexe, rozptylu a transmitance. V případě biologické tkáně se pro lasery ve viditelném a infračerveném

spektru uplatňuje především absorpce. Ve srovnání s ní můžeme procesy reflexe či rozptylu zanedbat. Fyzikálně lze tento jev popsat Lambert-Beerovým zákonem pro monochromatické záření.

$$I = I_0 e^{-\mu_A l}$$

Kde  $I_0$  je vstupní intenzita záření,  $\mu_A$  je koeficient absorpce a  $l$  je tloušťka vrstvy. Hloubka průniku  $\sigma$  laserového záření do tkáně je pak definována jako vzdálenost, na které je intenzita laserového záření zeslabena na  $e^{-1}$  své původní hodnoty.

$$\sigma = \frac{1}{\mu_A}$$

Interakci laserového záření s tkání lze rovněž popsat pomocí mechanismů, jež jsou závislé na vlnové délce, plošné hustotě výkonu záření, expoziční době a také na druhu tkáně. Interakční mechanismy můžeme obecně rozdělit jako:

- Fotochemický mechanismus, jenž se uplatňuje především při nízkých hustotách výkonu 0,1–10 W/cm<sup>2</sup> laserového záření. Dochází při něm k chemickým reakcím na makromolekulární úrovni. Využití nachází při fotodynamické terapii a biostimulaci.
- Fototermální mechanismus, který je typický pro kontinuální lasery o hustotách výkonu laserového záření v rozsahu 101–106 W/cm<sup>2</sup>. Kdy kombinací expoziční doby a plošné hustoty výkonu pak můžeme docílit tkáňových efektů jako např. koagulace, karbonizace a odpaření.
- Fotoablativní mechanismus je proces, při kterém dochází k přímému rozpadu molekulárních vazeb pomocí vysoce energetických fotonů UV záření např. u pulsních excimerových laserů. Plošné hustoty výkonů se zde pohybují mezi 107–1010 W/cm<sup>2</sup>.
- Fotoplazmatický mechanismus se uplatňuje při hustotách výkonu záření nad 1011 W/cm<sup>2</sup>, kdy vzniká plazma, která sama absorbuje záření, přičemž tak dochází k expanzi a kolapsu plazmatického obláčku s následnými rázovými vlnami [11].

## 2.2 Dopplerův jev

Dopplerův jev popisuje změnu detekované frekvence vlnění při vzájemném pohybu jeho zdroje vůči přijímači. Jeho fyzikální podstatou je skládání rychlosti vlnění s rychlostí tohoto vzájemného pohybu. Poprvé byl popsán v roce 1842 Christianem Dopplerem jako posuv spektrálních čar u rotujících dvojhvězd. Lze jej popsat pro libovolné vlnění, tedy zejména akustické i elektromagnetické [12].

Obecně můžeme tento jev popsat například rovnicí:

$$f = f_0 \left( 1 \pm \frac{v}{c} \right),$$

kde

$f$ ...frekvence přijímaná detektorem

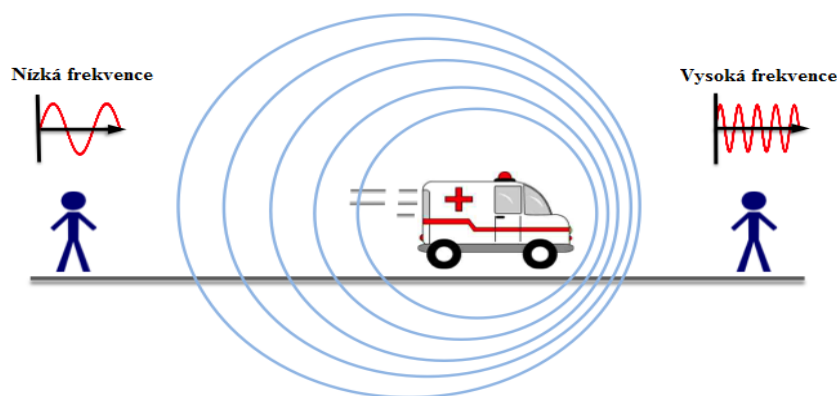
$f_0$ ...frekvence vysílaná zdrojem

$v$ ...relativní rychlost zdroje vůči přijímači

$c$ ...rychlost šíření vln v dané látce

Znaménko ve vzorci volíme podle toho, zda se vzdálenost mezi zdrojem vlnění a přijímačem zmenšuje, nebo zvětšuje [13].

## Dopplerův jev



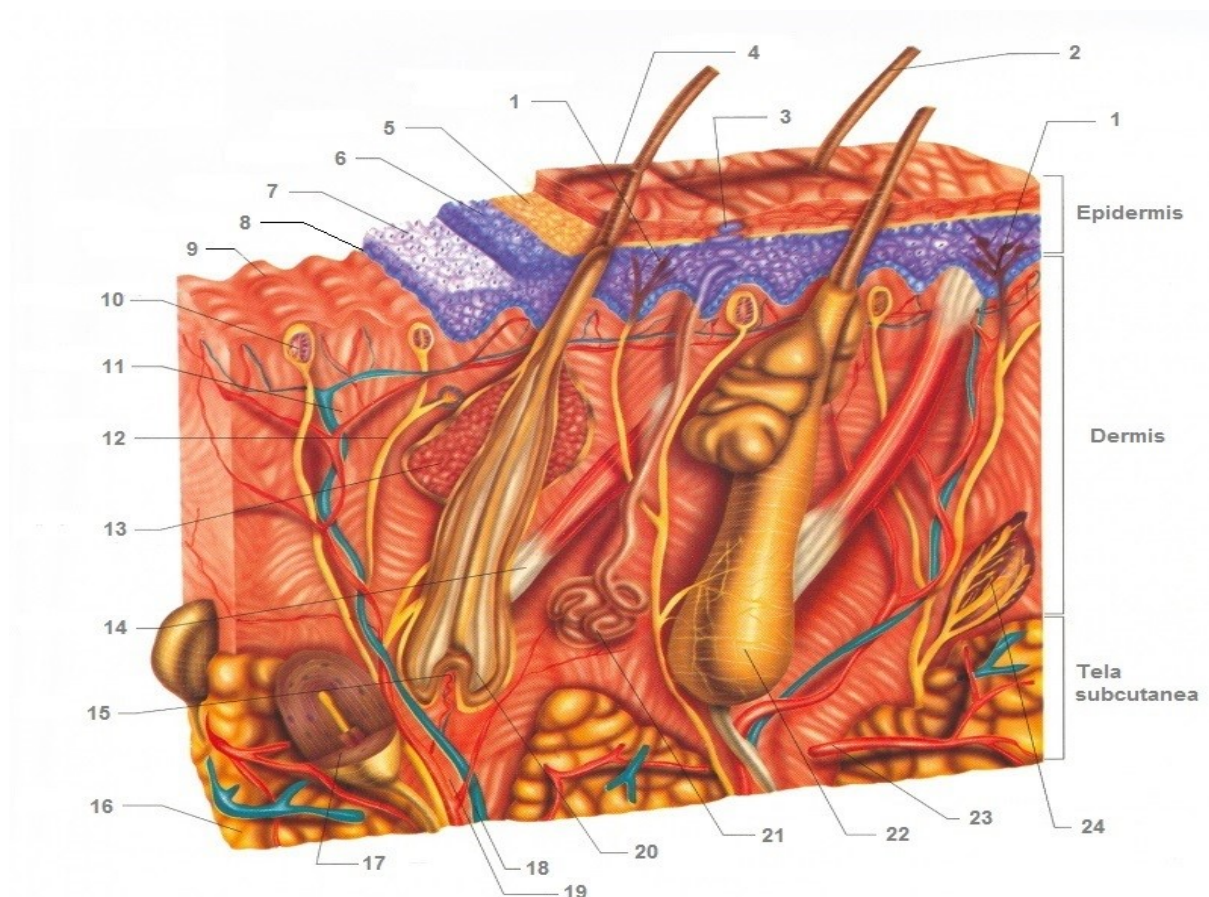
**Obrázek 2.4.** Dopplerův jev [14].

V běžném životě můžeme tento fenomén pozorovat například během průjezdu sanitního vozidla se zapnutou sirénou. Kdy při přibližování sanitky vnímáme zvuk vyšší frekvence, než při jejím vzdalování. Pro medicínu je zdaleka tím nejdůležitějším Dopplerův jev při odrazu vlnění od pohybujících se částic, zejména pak červených krvinek. Toho je hojně využíváno v rámci ultrasonografie během vyšetření karotid nebo cév dolních končetin, ale je základem také pro další aplikace, konkrétně i námi využívané metody LDPI [15].

Během vyšetření pomocí LDPI je podstatná právě změna rychlosti, jejímž součinem s množstvím krve (erytrocytů) protékající snímaným místem je hodnota zvaná perfuze. Daná problematika bude ještě dále rozvedena v praktické části této práce.

### 3. Anatomie a fyziologie kůže

Kůže dosahující u dospělého člověka plochy téměř 2 m<sup>2</sup> je největším orgánem lidského těla. Její tloušťka (podle tělní krajiny) kolísá mezi 0,5 mm a 4 mm, přičemž nejtenčí je na očních víčkách či penisu, a naopak nejtlustší na zádech. Hmotnost kůže dosahuje přibližně 7 % tělesné váhy (v závislosti na ztlustění tukovým polštářem). Histologicky se dělí na tři základní vrstvy: epidermis, dermis a tela subcutanea [16, 17].



**Obrázek 3.1.** Příčný řez kůží: 1 – nervová smyslová zakončení; 2 – vlas; 3 – potní pór; 4 – stratum corneum; 5 – stratum lucidum; 6 – stratum granulosum; 7 – stratum spinosum; 8 – stratum basale; 9 – kožní papila; 10 – Meissnerovo tělísko; 11 – subpapilární pleteň; 12 – Krauseho tělísko; 13 – mazová žláza; 14 – musculus arrector pili; 15 – papila; 16 – tuková tkáň; 17 – Pacciniho tělísko; 18 – žíla; 19 – podkožní pleteň; 20 – vlasová cibulka; 21 – potní žláza; 22 – vlasový váček; 23 – tepna; 24 – Ruffiniho tělísko [18].

#### 3.1 Epidermis (pokožka)

Tuto nejsvrchnější část kůže tvoří rohovatějící vrstevnatý dlaždicový epitel, kde jsou keratinocyty prostoupeny především melanocyty, které je zásobují kožním barvivem (melaninem). Dále jsou zde přítomny imunokompetentní Langerhansovy buňky a řídce též Merkelovy buňky (mechanoreceptory původem z neuroektodermu). V epidermis je rozlišována vrstva zárodečná (stratum germinativum,

dělící se dále na stratum basale a stratum spinosum), směrem k povrchu je to pak vrstva zrnitá (stratum granulosum), vrstva jasných buněk (stratum lucidum) a vrstva rohová (stratum corneum). Vyzrání buněk od bazální vrstvy až k rohové části trvá přibližně 14 až 28 dní.

**Stratum basale** – jedna vrstva palisádovitě uspořádaných buněk (keratinocytů) nasedajících na bazální laminu, kde početné výběžky melanocytů transportují melanin do okolních keratinocytů (jeden melanocyt zásobuje cca 30 až 40 keratinocytů). Probíhá zde buněčné dělení.

**Stratum spinosum** – buňky se zde ve dvou až pěti vrstvách postupně oplošťují a jsou spojeny desmozomy, přičemž mezibuněčné prostory jsou vyplněny tkáňovým mokem.

**Stratum granulosum** – jedna až tři vrstvy buněk, ve kterých se začínají vytvářet zrna keratohyalinu uložených mezi tonofilamenty ve formě mikroskopických granul.

**Stratum lucidum** – tenká vrstva nápadná zejména na dlaních a chodidlech. Buňky zde obsahují eleidin jakožto další prekurzor keratinu.

**Stratum corneum** – patnáct a více vrstev bezjaderných keratinocytů vyplněných keratinem (vláknitá bílkovina) a spojených v intercelulárních prostorech tmelovou substancí. Takto vzniklá lamela pak zabraňuje průniku mnoha látek. Tuto vrstvu lze rozdělit na stratum conjunctum a postupně se olupující stratum disjunctum.

Podstatnou částí kůže jsou i epidermální deriváty. Například rohové deriváty jako jsou chlupy a vlasy (obojí vznikající z vchlípenin pokožky nazývaných vlasové folikuly) nebo nehty. Mezi další skupinu epidermálních derivátů pak patří jednotlivé typy žláz - mazové (holokrinní) a potní (merokrinní, ekkrinní či apokrinní) [16, 17].

### 3.2 Dermis (corium, škára)

Dermis jakožto střední část kůže tvoří především vazivová složka (kolagenní, elastická, retikulinová). Buněčnou částí jsou fibroblasty, histiocyty, mastocyty a lymfocyty. V této vrstvě jsou též situovány krevní cévy, nervová vlákna i hladké svalstvo. Škára se dělí na stratum papillare a stratum reticulare.

**Stratum papillare** – síť vláken s větším množstvím vazivových buněk protkána četnými kapilárami zasahujícími do dermálních papil.

**Stratum reticulare** – husté svazky kolagenních fibril a jejich vlnitý průběh umožňují tažnost kůže, přičemž elastické fibrily pak vracejí stav zpět.

Ve škáře jsou situována také specifická senzorická nervová zakončení, konkrétně Meissnerova, Vater-Paciniho a Krauseho či Ruffiniho tělíska (mechanoreceptory, resp. termoreceptory) [16, 17].

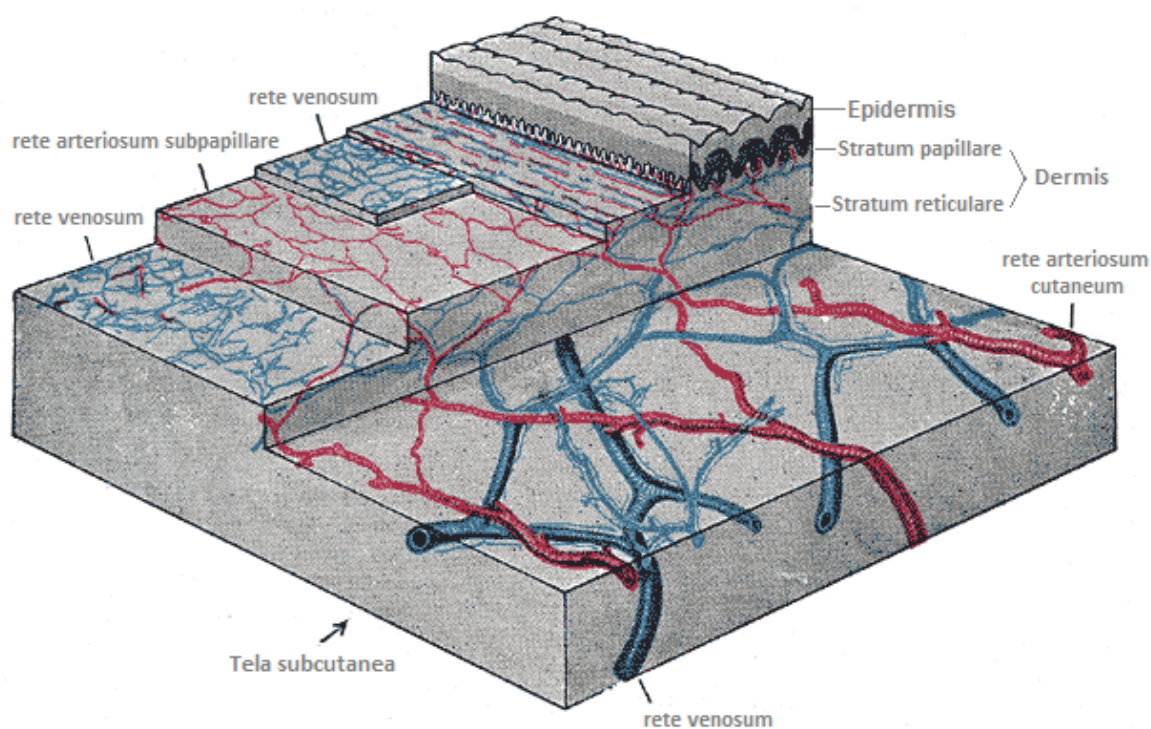


### 3.3 Tela subcutanea (subcutis, podkožní vazivo)

Mimo řídkého vaziva s procházejícími cévními a nervovými pleteněmi tvoří tuto vrstvu kůže zejména tukové buňky (adipocyty). Tloušťka této části kůže je značně variabilní a závisí na krajině těla, ale také na výživě [16].

### 3.4 Podkožní cévní systém

Přívodné tepny přicházejí do kůže skrze povrchovou fascii a na hranici dermis s tela subcutanea se spojují za vzniku hluboké arteriální sítě (rete arteriosum cutaneum). Povrchová arteriální síť (rete arteriosum subpapillare) se pak vytváří na hranici vrstvy papilární s vrstvou retikulární. Obě části jsou navzájem propojeny mnoha cévními spojkami. Drobné tepénky pak prostřednictvím sítě kapilár přechází v jemné žilky spojující se ve venózní síť (rete venosum) přibližně analogické s částí arteriální [16, 19].



Obrázek 3.2. Podkožní cévní systém [20].

### 3.5 Funkce kůže

Mimo jasně patnou mechanickou bariéru oddělující organismus od přímých vlivů vnějšího prostředí má kůže ještě mnoho dalších funkcí, jejichž příklady jsou uvedeny níže [21].

**ochrana proti záření** – proti UV záření nás chrání melanocyty produkovaný melanin, který je z nich následně distribuován do keratinocytů.

**ochrana proti mikroorganizmům** – pot a maz obsahují antibakteriální látky. Ochrany proti mikroorganizmům se dále účastní i kyselé pH (4–6) či přítomnost saprofytických mikroorganizmů. V hlubších vrstvách kůže obranu zajišťují buňky imunitního systému (Langerhansovy, Gransteinovy, lymfocyty a makrofágy).

**metabolická funkce** – působením ultrafialového záření dochází ve stratum granulosum ke konverzi prekursoru vitamínu D (7-dehydrocholesterol je přeměňován na cholekalciferol).

**termoregulační** – změnami prokrvení kůže a také tvorbou potu je regulována výměna tepla mezi organismem a prostředím. Jedná se o funkci, která má ve vztahu k této práci zcela zásadní význam.

**termoizolační** – kůže spolu s podkožní tukovou vrstvou spolu tvoří termoizolační vrstvu.

**resorpční** – kůže resorbuje liposolubilní látky (rozpuštěné v tucích) obsažené například v mastech.

**exkreční** – mimo pravé potní (ekrinní) žlázy nacházející se po celém těle produkují apokrinní žlázy vyskytující se převážně v axille a perigenitální krajině chemické pachové signály.

**energetická a zásobní** – značně závislá především na tělesné konstituci, přičemž hlavní roli v tomto ohledu hrají tuky.

**regenerační** – epidermální kmenové buňky zajišťují nevyčerpatelnost kožních buněk. Mají schopnost neomezeného dělení, jsou uloženy v bazální vrstvě a umožňují tak neustálou obměnu a regeneraci pokožky.



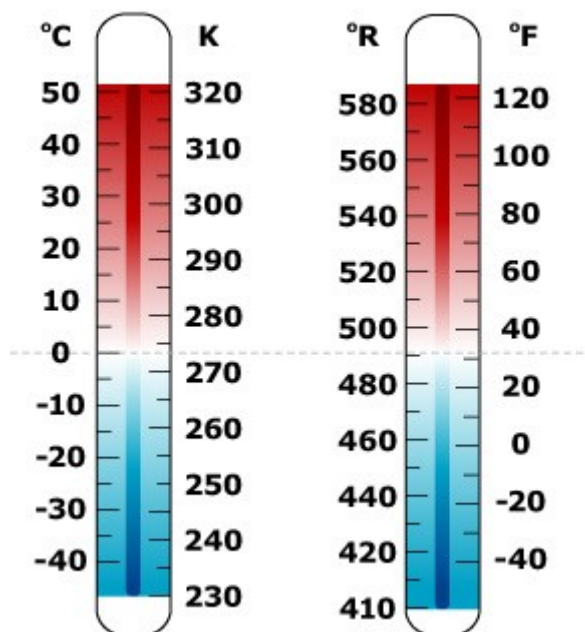
## 4. Teplota jako fyzikální veličina

Teplota je charakteristikou tepelného stavu hmoty. V obecnějším významu je to vlastnost předmětů či okolí, kterou je člověk schopen vnímat a přiřadit jí pocity studeného, teplého či horkého. Na teplotě závisí mnohé mechanické, elektromagnetické i chemické vlastnosti látek. Zásadním způsobem tak ovlivňuje náš všední život.

### 4.1 Teplota z pohledu její klasifikace

Z vědeckého pohledu je teplota základní skalární veličinou soustavy SI vhodnou k popisu stavu ustálených makroskopických systémů. Její jednotkou je kelvin (K) a jednotkou vedlejší stupeň Celsia ( $^{\circ}\text{C}$ ). Nejnižší možnou teplotou je teplota absolutní nuly (0 K;  $-273,15^{\circ}\text{C}$ ), ke které se lze přiblížit, avšak nelze jí dosáhnout. Absolutní teplota je přímo úměrná objemu ideálního plynu při konstantním tlaku, resp. tlaku ideálního plynu při konstantním objemu [22].

V metrickém systému je pro vyjádření teploty užíván stupeň Celsia ( $^{\circ}\text{C}$ ) v běžném životě a Kelvin (K) pro měření v absolutních hodnotách. V angloamerickém měrném systému je to pak stupeň Fahrenheita ( $^{\circ}\text{F}$ ) pro běžné použití a stupeň Rankina ( $^{\circ}\text{R}$ ) při měření v absolutních hodnotách [23].



Obrázek 4.1. Příklad různých teplotních stupnic a jejich porovnání [23].

### 4.2 Teplota organismu

Tělesnou teplotou se označuje přirozená teplota daného organismu, při které je schopen normálně fungovat. Každý živočišný druh má tuto teplotu rozdílnou, přičemž závisí na tělesné stavbě, metabolismu, životním prostředí a dalších faktorech. Tělesná teplota je nezávislá na počasí, ale vlivem

rychlých klimatických změn může snadno poklesnout či stoupnout nad svoji normální hranici a organismus na toto musí urychleně reagovat.

I člověk má samozřejmě vyvinuté různé mechanismy, pomocí kterých vyrovnává tepelné výkyvy okolí. Reakcí na chlad je například vasokonstrikce, piloerекce, svalový třes, zvýšení tělesného metabolismu. Reakcí na teplo pak může být pocení či snížení tělesného metabolismu [24].

Rozdělení jednotlivých tělesných stavů člověka v závislosti na teplotě:

- 36,0–36,9 °C je rozmezí normální teploty zdravého člověka
- < 36,0 °C je subnormální teplota – doprovází šok, otravy
- 37,0–37,9 °C je rozmezí zvýšené teploty – subfebrilie
- 38,0 °C < je horečka – febris

### 4.3 Měření teploty

Teplota bývá v zásadě měřena tak, že se uvede do vzájemného styku těleso, jehož teplotu chceme měřit, a srovnávací těleso, jehož teplotu známe. Po vytvoření tepelné rovnováhy je teplota tělesa rovna teplotě srovnávacího tělesa, které se obvykle nazývá teploměrem. Obor zabývající se měřením teploty se jmenuje termometrie.

K určování teploty se využívá závislosti vhodně zvolených fyzikálních veličin na teplotě. To umožňuje převést měření teploty na měření jiné fyzikální veličiny. Mezi tyto teplotně závislé veličiny patří například délkové rozměry, objem pevných či kapalných těles, tlak plynů (teplotní roztažnost a rozpínavost), elektrický odpor vodičů nebo polovodičů, elektromotorické napětí termoelektrických článků [25, 26].

Na základě výše uvedeného pak můžeme rozdělit teploměry podle funkčního principu:

- Kapalinový teploměr
- Bimetalový teploměr
- Plynový teploměr
- Odporový teploměr
- Termoelektrický teploměr
- Polovodičový teploměr
- Radiační teploměr

## **Praktická část**

Experimentální studie teplotních vlivů na zobrazování pomocí LDPI

## 5. Design studie

Design této malé studie byl navržen s ohledem na zajištění alespoň částečné simulace běžných podmínek, při kterých je metoda LDPI teplotou přirozeně ovlivňována. Z tohoto důvodu bylo plánováno provést měření alespoň ve třech různých ročních obdobích, ideálně však ve stejnou denní dobu. Tato skutečnost nás vedla také k záměru provést snímání bezprostředně po příchodu dotyčného do místnosti a následně jej zopakovat po uplynutí určité doby (patnáctiminutová aklimatizace).

Samozřejmostí bylo předpokládané nepřetržité sledování teploty uvnitř místnosti (vlhkosti uvnitř místnosti), celkové teploty monitorované osoby a lokální teploty snímané části těla. Jako zdroj pro záznam meteorologických podmínek panujících během měření a při příchodu probandů do Fakultní nemocnice Ostrava byl jako ideální shledán záznam dat Českého hydrometeorologického ústavu, konkrétně z regionálního předpovědního pracoviště Ostrava – Poruba.

Z dostupných materiálů bylo také usouzeno, že bude vhodné zajistit konstantní vzdálenost a především kolmý úhel mezi snímací hlavicí přístroje a monitorovanou oblastí. Rovněž přiměřené osvětlení místnosti by se nemělo v průběhu všech měření měnit. Za účelem zajištění maximálně konstantních podmínek byla předpokládána i nutnost zamezit nadměrnému proudění vzduchu v místnosti s čímž souvisí vhodné nastavení klimatizace.

Pro objektivní doplňkové zhodnocení změn krevní perfuze u jednotlivých osob bylo současně v plánu použití softwarového nástroje PIPPA (Perfusion Image Progression and Prognosis Assessment), který umožňuje vyhodnotit topografické mapy krevní perfuze.

Další detaily týkající se provedení studie budou popsány v samostatné kapitole o jednotlivých etapách měření, která se uskutečnila.

## 6. PeriScan PIM 3

Přístroj PeriScan PIM 3 od švédské firmy Perimed používaný na oddělení Popáleninového centra Fakultní nemocnice Ostrava je jedním ze zařízení, která zobrazují krevní perfuzi s využitím laserového záření a Dopplerovského posunu. Jak již bylo uvedeno dříve, důležitá je při tomto měření změna rychlosti proudících erytrocytů při současném zachycení objemu těchto krevních elementů v daném místě. Přístroj PeriScan PIM 3 dokáže tyto změny zaznamenat a následně patřičným softwarem vyhodnotit v tzv. perfuzních jednotkách (perfusion units – PU), ale i v podobě grafického zobrazení.

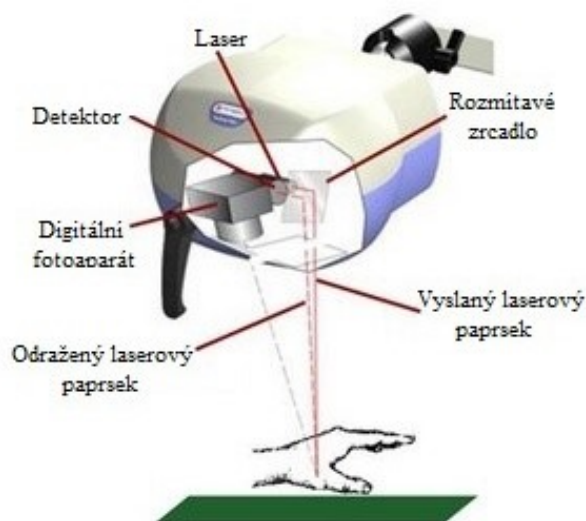


**Obrázek 6.1.** Hlavice přístroje PeriScan PIM 3 na pohyblivém rameni [27].

Dopplerovský posun frekvenčního spektra fotonů odražených od pohyblivých krevních elementů je po zachycení detektorem porovnán s frekvencí fotonů, které byly původně přístrojem směrem ke kůži vyšetřovaného místa vyslány, přičemž tato původní frekvence zůstane zachována u fotonů odražených od statických struktur. Koncentrace pohyblivých částic je následně násobena jejich průměrnou rychlostí s výsledkem ve formě bezrozměrných PU.

### 6.1 Konstrukce přístroje PeriScan PIM 3

Samotné zařízení se skládá ze skenovací hlavičky umístěné na pohyblivém rameni s podstavcem, přičemž zásadní prvky přístroje jsou umístěny právě v hlavici. Jedná se zejména o nízko výkonový generátor laserového paprsku (s vlnovou délkou 658 nm), fotodetektor, rozmítavé zrcadlo a fotoaparát. Hlavice je pak kabelovým vedením spojena dvěma USB porty s počítačem vybaveným softwarem LDPIwin. PeriScan PIM 3 je schopný snímat plochu o rozměrech až 50×50 cm s rozlišením 255×255 diskretních bodů. Přístroj je také vybaven funkcí kontroly ambientního osvětlení, které by nemělo přesáhnout určitou hranici [27].



**Obrázek 6.2.** Hlavice přístroje PeriScan PIM 3 na pohyblivém rameni [27].

## 6.2 Možnosti softwaru LDPIwin ve spojení s PeriScan PIM 3

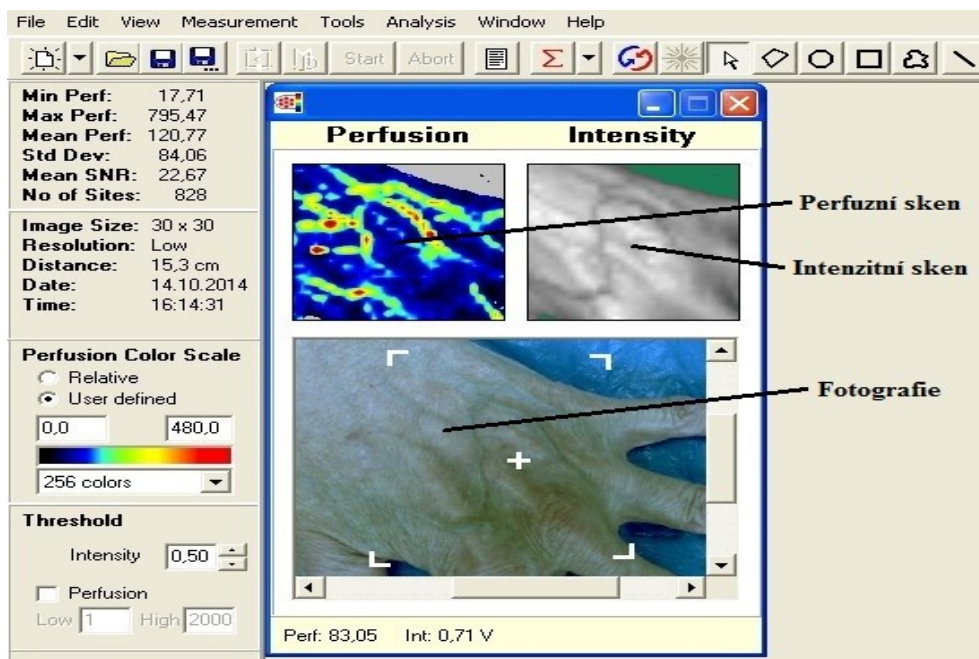
Mimo poměrně intuitivní ovládání přístroje PeriScan PIM 3 je software LDPIwin (konkrétně námi používaná verze 3.1) schopný získaná data analyticky zpracovat a současně je také umožněn jejich export například ve formě PDF souboru. Systém nabízí čtyři možnosti snímání:

- Single mode
- Duplex mode
- Repeated mode
- Sequential mode

V rámci této práce byly využívány první dvě varianty, proto budou dále popsány pouze ony [27].

## 6.3 Single mode

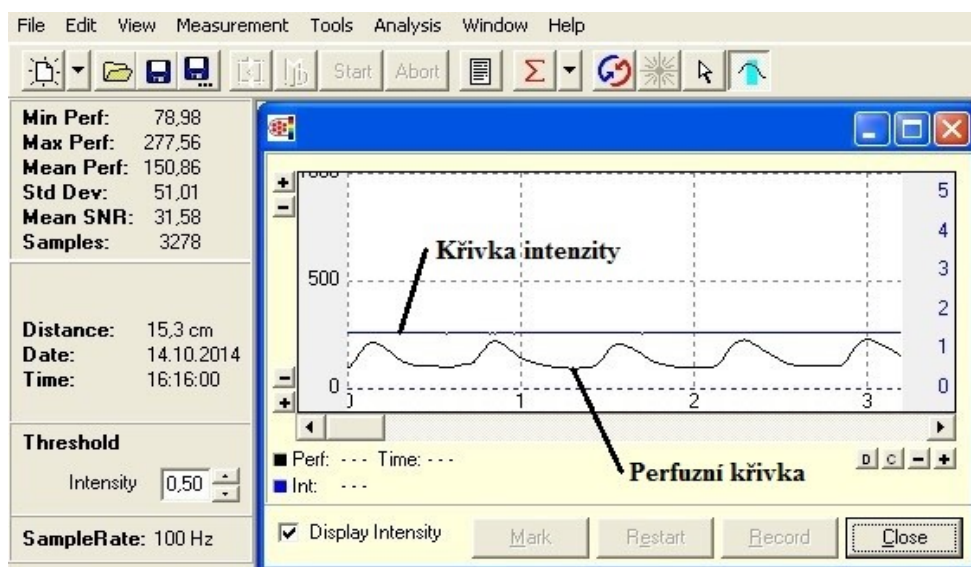
Výstupem tohoto módu jsou perfuzní a intenzitní sken doplněné o barevnou fotografii snímané oblasti. Intenzitní sken udává především intenzitu fotonů odražených zpět do fotodetektoru, aniž by zohledňoval vliv Dopplerova posunu. Zásadním výstupem měření je ovšem perfuzní mapa, jelikož barva a její intenzita udávají hodnotu prokrvení, kdy červená představuje místo nejlépe zásobené krví. V opačném případě (v místě s nejnižší perfuzí) pak můžeme vidět barvu modrou. Dané barevné spektrum je zároveň softwarově vyhodnoceno do podoby PU, se kterými může uživatel dále pracovat.



Obrázek 6.3. Výstup měření zobrazený pomocí softwaru LDPIwin v single mode.

## 6.4 Duplex mode

Ze všech čtyř zmiňovaných možností snímání krevní perfuze provádí tento mód jako jediný v čase kontinuální měření v jednom bodě (vzorkovací frekvence je 100 Hz). V zobrazovacím okně je v závislosti na hodnotách PU promítána křivka, která znázorňuje změnu rychlosti proudění krve. Tuto křivku, resp. jednotlivé hodnoty PU, lze také pro potřeby pozdější analýzy nahrát do souboru a ten posléze uložit.



Obrázek 6.4. Výstup měření zobrazený pomocí softwaru LDPIwin v duplex mode.

## 6.5 PIPPA

Projekt PIPPA je výsledkem společné práce lékařů Popáleninového centra Fakultní nemocnice v Ostravě a Ing. Ivety Bryjové ve spolupráci s doc. RNDr. Stanislavem Hledíkem, Ph.D. Záměrem tohoto nástroje je snazší zhodnocení topografických perfuzních map, jejich okamžitých hodnot perfuze i perfuzní dynamiky.

Součástí metody PIPPA je totiž algoritmus DSPTA (Digital Subtraction Perfusion Topography Analysis), který slouží k vyhodnocení map perfuzní dynamiky mezi dvěma perfuzními skeny pořízenými v různém čase. Přičemž obě složky (PIPPA i DSPTA) tak umožní přesnější prostorovou i časovou analýzu perfuzních skenů. Objektivní posouzení rozdílu mezi jednotlivými perfuzními mapami metodou PIPPA by tak mělo usnadnit a zpřesnit analýzu výsledků těchto měření a pomoci lékařům při plánování operační léčby.

Grafickým a barevným znázorněním na překryvech perfuzních map s fotografiemi vznikne určitě přehlednější zobrazení oproti možnostem zhodnocení pomocí softwaru LDPIwin standardně dodávanému s přístrojem PeriScan PIM 3. Současně s posouzením rozdílových map vytvořených metodou PIPPA lze také v čase snáze posoudit stav progresu popáleninových defektů.

## 6.6 Konkurenční přístroj pro LDPI snímání

Konkurenčním přístrojem k PeriScan PIM 3 je zařízení moorLDI2-HIR britské firmy Moor instruments. To je sice schopno zastat přibližně stejnou funkci, oproti přístroji používaném na Popáleninovém centru však v některých parametrech jeho kvalit nedosahuje. Například maximální velikost skenované plochy může být pouze 25×25 cm a rovněž konstrukce přístroje (obrázek 6.5) evidentně neumožňuje flexibilitu, jakou disponuje pohyblivé rameno zařízení PeriScan PIM 3 [28].



**Obrázek 6.5.** Přístroj moorLDI2-HIR pro zobrazování metodou LDPI [28].



## 7. Další použité měřicí přístroje

### 7.1 Fluke Calibration 1523

Jedná se o velice přesný referenční teploměr firmy Fluke, který je běžně používán především ke kalibraci mnoha rozličných zařízení a to nejen v průmyslových odvětvích. Námi byl využit pro měření teploty povrchu kůže dorsa ruky snímané metodou LDPI. Ačkoliv věrnost hodnot odečtených z tohoto teploměru je závislá také na vlastnostech sondy k němu připojené, lze předpokládat, že zjištěné hodnoty jsou pro naše účely více než dostatečně přesné [29].



**Obrázek 7.1.** Teploměry Fluke Calibration 1523 (vlevo) a ThermoFlash LX-26 (vpravo) [29, 30].

### 7.2 ThermoFlash LX-26

Tento teploměr je často využíván k měření tělesné teploty v klinické praxi, podobně je tomu i na oddělení Popáleninového centra ve Fakultní nemocnici Ostrava. Nám posloužil ke stejnému účelu. Jeho přesnost určitě nelze srovnávat s parametry kalibračního přístroje Fluke Calibration 1523, pro rychlé zhodnocení tělesné teploty jednotlivých probandů byl však ideální volbou.

### 7.3 Omron M6

Přenosný digitální tonometr japonské firmy Omron je jedním z nejpřesnějších zařízení tohoto typu. Krevní tlak každého z probandů jím byl změřen během patnáctiminutového intervalu mezi prvním a druhým snímáním perfuze. Po celou dobu měření byl napájen z rozvodné sítě (nikoliv ze záložních elektrických baterií), aby byla zajištěna věrnost zobrazených hodnot [31].

### 7.4 Zdroje dalších zaznamenaných údajů

Zdrojem pro námi zaznamenané meteorologické údaje byla data Českého hydrometeorologického ústavu, konkrétně z Meteostanice Ostrava-Poruba. Teplota a vlhkost v místnosti byly zase zjištěny z digitálního měřicího přístroje, který je v ní trvale umístěn [32].

## 8. Demografické údaje probandů

Pro relevantnější posouzení vlivu teploty na měření metodou LDPI bylo v rámci této práce vhodné zařadit do studie více osob. Nakonec byl počet členů sledované skupiny rozšířen až na čtyři probandy. Ti byli vybráni především na základě rozdílného věku, tedy od dítěte přes dospělé jedince k seniorovi. V následujících odstavcích budou popsány jejich demografické údaje se závěrečným zhodnocením.

### 8.1 Seznam probandů

**První** osobou zařazenou do studie je sedmiletá žákyně druhé třídy. Jedná se o zcela zdravé dítě bez jakýchkoliv chronických nemocí či zdravotních omezení. Vedle výjimečně aktivního stylu života je však určitě nutné zmínit, že tento proband má dosti výrazněji pigmentovanou kůži (tzv. mulat, tedy potomek otce černocho a matky bělošky).

**Druhým** zúčastněným probandem je žena poměrně drobné postavy ve věku dvaceti osmi let, během měření taktéž bez příznaku nemoci. Netrpí rovněž žádným chronickým onemocněním. V dětství sice utrpěla zranění pravé nohy ve formě rozsáhlé popáleniny stehna zhojené nyní jizvou, kůže na ruku však zůstala neporušena, což je pro naše měření zásadní. Pro úplnost je vhodné ještě uvést, že při studiu vysoké školy zároveň pracuje jako lektor environmentální výchovy.

**Třetí** osobou zahrnutou do studie je osmadvacetiletý muž výrazně hubené postavy. V průběhu měření u něj sice také nebylo pozorováno žádné akutní onemocnění, ovšem dlouhodobě trpí sekundární epilepsií v důsledku již obliterované A-V malformace. Z tohoto důvodu užívá pravidelně několik léků, konkrétně se jedná o Kepru, Lamictal a Magnesii lactici. Současně byla tomuto muži diagnostikována lehčí forma asthma bronchiale s následnou kompenzací přípravkem Symbicort Turbuhaler. I tento proband pracuje při studiu vysoké školy jako lektor environmentální výchovy.

**Čtvrtým** a posledním probandem, který podstoupil měření LDPI v rámci této práce, je žena ve věku sedmdesáti dvou let. Ačkoliv ani u ní nebyl během měření patrný žádný příznak akutního onemocnění, trpí, i vzhledem ke svému věku, několika chronickými nemocemi. Jedná se o hypothyreosu, asthma bronchiale (tlumeno léky Singulair, popř. Aeries) a lehkou hypertenzi (Prenewel). Navíc, i přes v minulosti prodělanou keratoplastiku obou očí, trpí tato žena částečnou slepotou. Pro úplnost jen doplníme, že před odchodem do penze pracovala většinu svého života jako dělník ve výrobě.

### 8.2 Zhodnocení

I s ohledem na výše uvedené informace můžeme však jen odhadovat, jakým způsobem byla jednotlivá měření ovlivněna chronickými onemocněními probandů a jejich užívanými léky. Lze však předpokládat, že ani v jednom případě (včetně poslední osoby trpící lehkou hypertenzí) nebude pro nás tento vliv v danou chvíli nikterak zásadní. Na druhou stranu je vhodné dodat, že obecně existují onemocnění, která na perfuzi nejen distálních částí končetin mají velký vliv, např. Raynaudův syndrom, ischemická choroba dolních končetin a, bohužel, mnohá další. Podobně tomu může být i u běžně užívaných léčiv charakteru vazodilatancií (tj. léků způsobujících rozšíření lumina cév) [2].

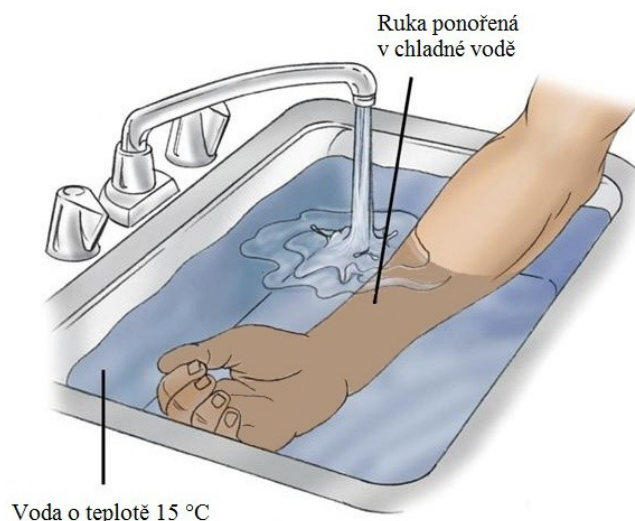
## 9. Provokační testy

Pro názornou demonstraci vlivu teploty na snímanou tkáň při měření metodou LDPI bylo v prvním realizovaném kontrolním měření použito tzv. chladového testu, který bývá součástí některých angiologických vyšetření v rámci série provokačních testů. Tyto testy se skládají nejen z lokálního podchlazení, ale i navození hypertermie vyšetřovaného místa. Účelem těchto testů je zjistit reakci cév, především na končetinách, při jejich vystavení chladu, resp. teplu. Úměrně těmto reakcím se snižuje, popř. zvyšuje, perfuze testované končetiny.

### 9.1 Chladový test

Jedná se o poměrně objektivní vyšetření, za pomoci kterého může lékař posoudit vasokonstrikci cév v chladném prostředí. U zdravého člověka jsou končetiny po ochlazení lépe prokrvené, než je tomu v případě poškozených cév, kdy dochází k jejich nadměrnému zúžení, což se projevuje např. bílými prsty.

Chladový test realizovaný v rámci této práce spočíval v ponoření horní končetiny (zhruba po předloktí) do umyvadla se studenou vodou o teplotě přibližně 15 °C na dobu pěti minut. Následně bylo ihned po ukončení ochlazování provedeno měření metodou LDPI a snímek porovnán s výsledkem měření pořízeným před zchlazením dané končetiny.



**Obrázek 9.1.** Ukázka chladového testu [33].

Zjištěné výsledky snímání budou zmíněny později v kapitole týkající se kontrolního měření (viz. dále).

## **10. Etapy měření**

S ohledem na cíle této práce byla pokusná měření rozdělena na dvě, resp. tři etapy. Důvodem bylo zajistit rozličné vnější meteorologické podmínky, a tak posoudit jejich případný vliv na použití metody LDPI po příchodu vyšetřované osoby do místnosti s přístrojem PeriScan PIM 3. Jelikož však měření probíhala na Popáleninovém centru Fakultní nemocnice Ostrava, bylo nutné respektovat zdejší provozní řád a synchronizovat jej s časovými možnostmi probandů. Z těchto skutečností v konečném důsledku vyplynula dvoje měření s účastí všech čtyř probandů a jedno měření včetně chladového testu avšak pouze s třetím probandem. Nejprve bude popsán průběh standardních měření, u kterých byl postup jednotlivých činností prakticky totožný, a následně měření s chladovým testem.

### **10.1 Standardní (druhé a třetí) měření**

Bezprostředně po příchodu do přiměřeně osvětlené místnosti, kde je díky místní klimatizaci trvale zajištěna konstantní teplota 24 °C, byla každému ze čtyř členů skupiny zobrazena perfuze dorsální strany levé ruky přístrojem PeriScan PIM 3. Vzdálenost mezi kůží a hlavicí přístroje byla vždy nastavena na optimálních 15 cm. V průběhu jednotlivých měření byla u všech osob určena hodnota jejich krevního tlaku, tělesná teplota a teplota povrchu snímané části těla. Další zobrazení perfuze proběhlo u každého z probandů po patnácti minutách od zobrazení prvního. Opět tomu předcházelo měření uvedených teplot. Během celého měření pak byla také sledována výše teploty a relativní vlhkosti v místnosti.

### **10.2 Měření s chladovým testem (první, kontrolní měření)**

Jak již bylo dříve uvedeno, součástí prvního (kontrolního) měření byl tzv. chladový test. Oproti výše popsaným standardním měřením se toto lišilo především fází navazující na první zobrazování perfuze, po němž byla ruka sledovaného probanda na pět minut ponořena do umyvadla s chladnou vodou (přibližně 15 °C). Následně bylo provedeno druhé zobrazení a po patnácti minutách zobrazení třetí. Během celého měření byly pochopitelně stejným způsobem jako u standardních měření průběžně určovány hodnoty jednotlivých teplot, resp. výše krevního tlaku.

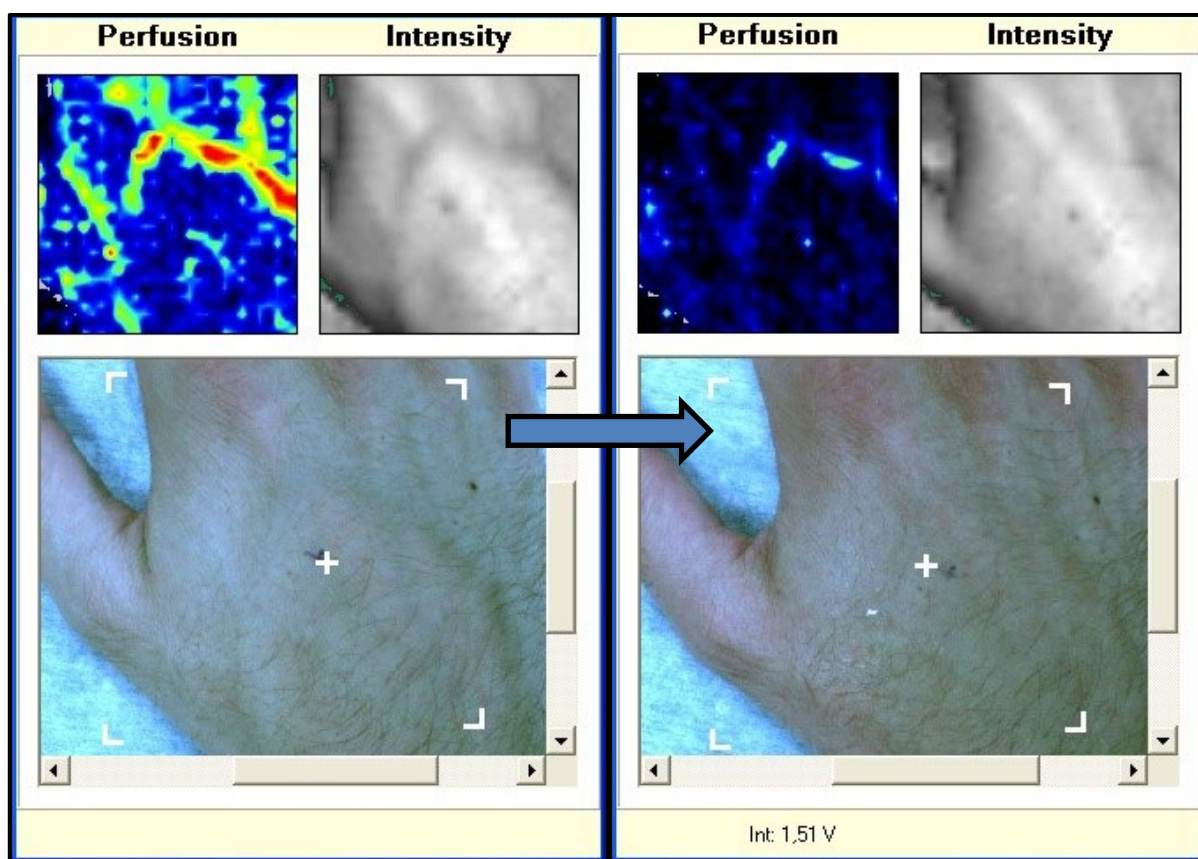
## 11. Výsledky

V této kapitole budou uvedeny výsledky jednotlivých měření v chronologickém sledu. Grafické záznamy z nich budou zároveň popsány patřičným komentářem, případně také doplněným o zajímavé a relevantní postřehy. Doplnkové diferenční skeny zpracované metodou PIPPA jsou pak uvedeny v samostatných přílohách číslo dvě, čtyři a šest.

### 11.1 První měření (23. 7. 2014)

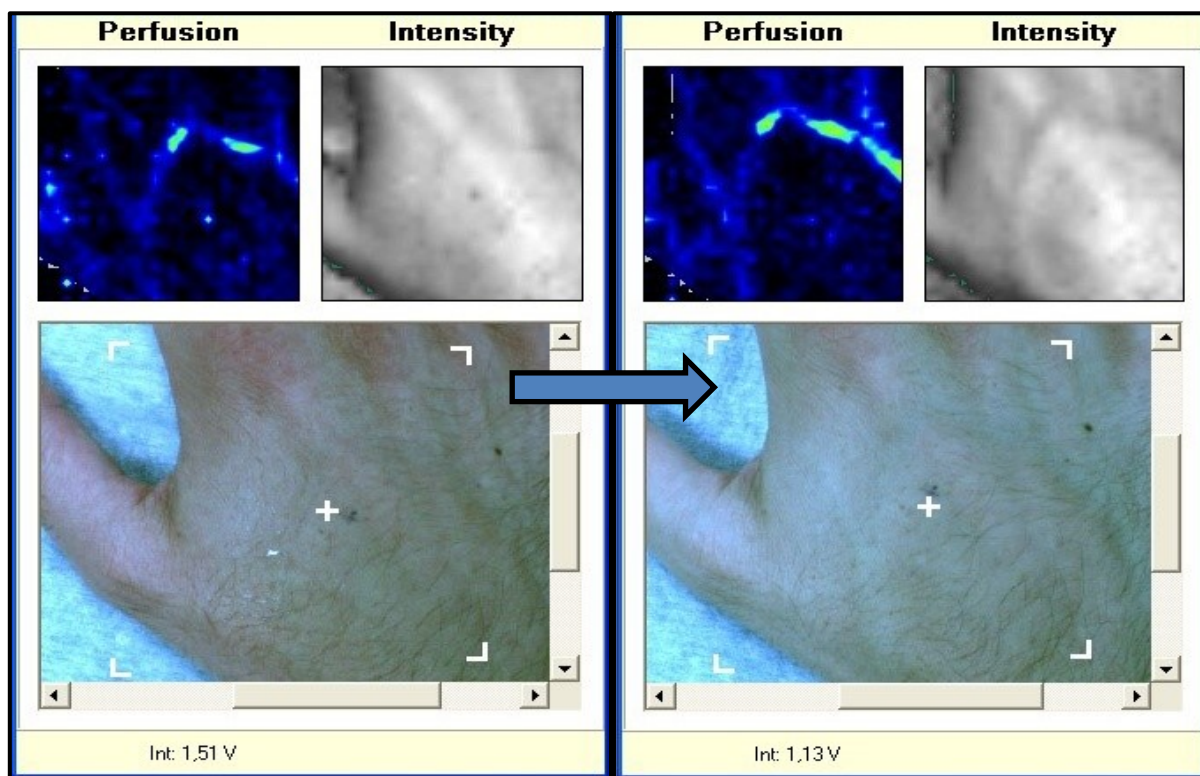
Cílem prvního (nebo též kontrolního) měření bylo posoudit proveditelnost námi navrženého plánu z organizačního a hlavně časového hlediska. Jak je uvedeno v předchozí části této práce, bylo však zároveň jeho neméně důležitou součástí také použití chladového testu.

Na níže uvedeném obrázku (11.1) je porovnáno měření s třetím probandem před a po ochlazení ruky ve studené vodě. Z perfuzních skenů je jasně patrný rozdíl v prokrvení povrchu končetiny, které po zchlazení vlivem vazokonstrikce výrazně kleslo. Konkrétně se jedná o pokles průměrné perfúze z 63,01 PU na 51,98 PU.



**Obrázek 11.1.** Srovnání skenů pořízených před (vlevo) a po (vpravo) zchlazení horní končetiny.

Dále je vyobrazeno srovnání skenu pořízeného těsně po zchlazení a skenu, který byl získán o patnáct minut později (po standardním pobytu v místnosti). I zde lze pozorovat patrný rozdíl v perfuzi, která však vlivem postupné vazodilatace při vzrůstu teploty oproti předchozímu příkladu stoupá. Vyjádřeno v průměrných perfuzních jednotkách se jedná o vzrůst z 51,98 PU na 57,65 PU.



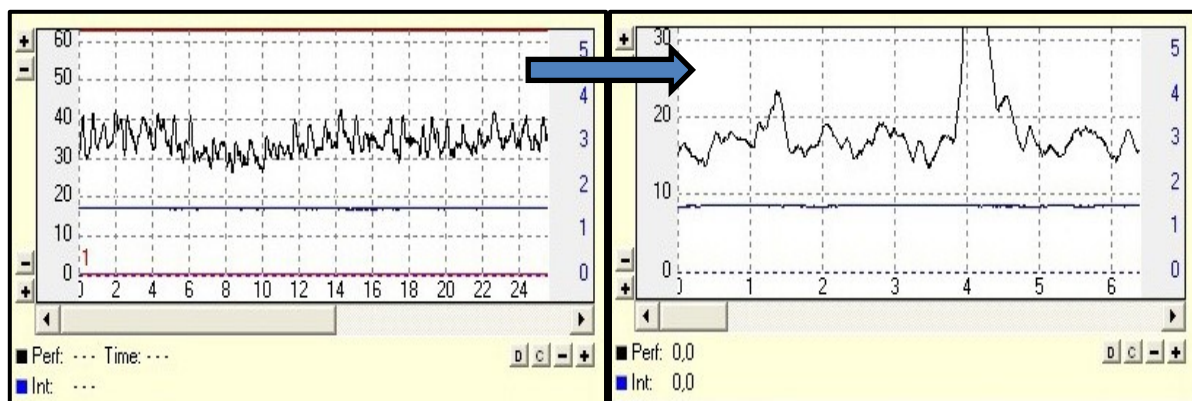
**Obrázek 11.2.** Srovnání skenů pořízených po zchlazení (vlevo) a po opětovné aklimatizaci (vpravo).

| Čas (hh:mm)                           | Tělesná teplota [°C]            | Teplota snímané oblasti [°C] | Teplota snímané oblasti [°C]    | Teplota v místnosti [°C]      | Relativní vlhkost v místnosti [%] |
|---------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| 14:55                                 | 36,7                            | 36,5                         | 32,078                          | 24,0                          | 63,1                              |
| 15:04                                 | 37,3                            | Low*                         | 22,720                          | 23,8                          | 64,3                              |
| 15:19                                 | 37,2                            | 36,2                         | 30,587                          | 23,7                          | 58,7                              |
| 15:24                                 | 36,9                            | 36,4                         | 31,916                          | 23,3                          | 60,5                              |
| *hodnota pod měřitelnou mez přístroje |                                 |                              |                                 |                               |                                   |
| Čas (hh:mm)                           | Minimální naměřená perfuze [PU] |                              | Maximální naměřená perfuze [PU] | Průměrná hodnota perfuze [PU] |                                   |
| 14:55                                 | 0,55                            |                              | 231,34                          | 63,01                         |                                   |
| 15:04                                 | -3,61                           |                              | 225,95                          | 51,98                         |                                   |
| 15:19                                 | 2,38                            |                              | 235,45                          | 57,65                         |                                   |
| 15:24                                 | 1,99                            |                              | 217,14                          | 54,08                         |                                   |

**Tabulka 11.1.** Hodnoty vztahující se k prvnímu měření s probandem číslo 3.



V průběhu tohoto kontrolního měření byl ovšem proveden také chladový test s osobou (ženou) trpící Raynaudovým syndromem. Jedná se o onemocnění charakteristické zblednutím, případně těž bolestí, periferních částí těla (především rukou) v důsledku poruchy krevního zásobení dané oblasti. K tomu pak dochází zejména vlivem chladu. Z tohoto důvodu bylo tak vhodnější pro větší názornost provést měření v duplexním módu přístroje PeriScan PIM 3, kde lze na levé ose grafického záznamu snadno určit, v jakých mezích PU hodnota perfuze osciluje. V případě perfuzního skenu by byl totiž rozdíl v prokrvení jen velmi těžce rozeznatelný [34].



**Obrázek 11.3.** Srovnání skenů pořízených před (vlevo) a po (vpravo) zchlazení horní končetiny.

| Čas (hh:mm)                           | Tělesná teplota [°C]            | Teplota snímané oblasti [°C] | Teplota snímané oblasti [°C]    | Teplota v místnosti [°C]      | Relativní vlhkost v místnosti [%] |
|---------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| 14:58                                 | 36,7                            | Low*                         | 28,561                          | 23,7                          | 60,7                              |
| 15:07                                 | 36,6                            | Low*                         | 20,457                          | 23,5                          | 59,7                              |
| *hodnota pod měřitelnou mez přístroje |                                 |                              |                                 |                               |                                   |
| Čas (hh:mm)                           | Minimální naměřená perfuze [PU] |                              | Maximální naměřená perfuze [PU] | Průměrná hodnota perfuze [PU] |                                   |
| 14:58                                 | 26,11                           |                              | 51,53                           | 35,95                         |                                   |
| 15:07                                 | 12,20                           |                              | 72,48                           | 17,51                         |                                   |

**Tabulka 11.2.** Hodnoty vztahující se k prvnímu měření s probandem trpícím Raynaudovým syndromem.

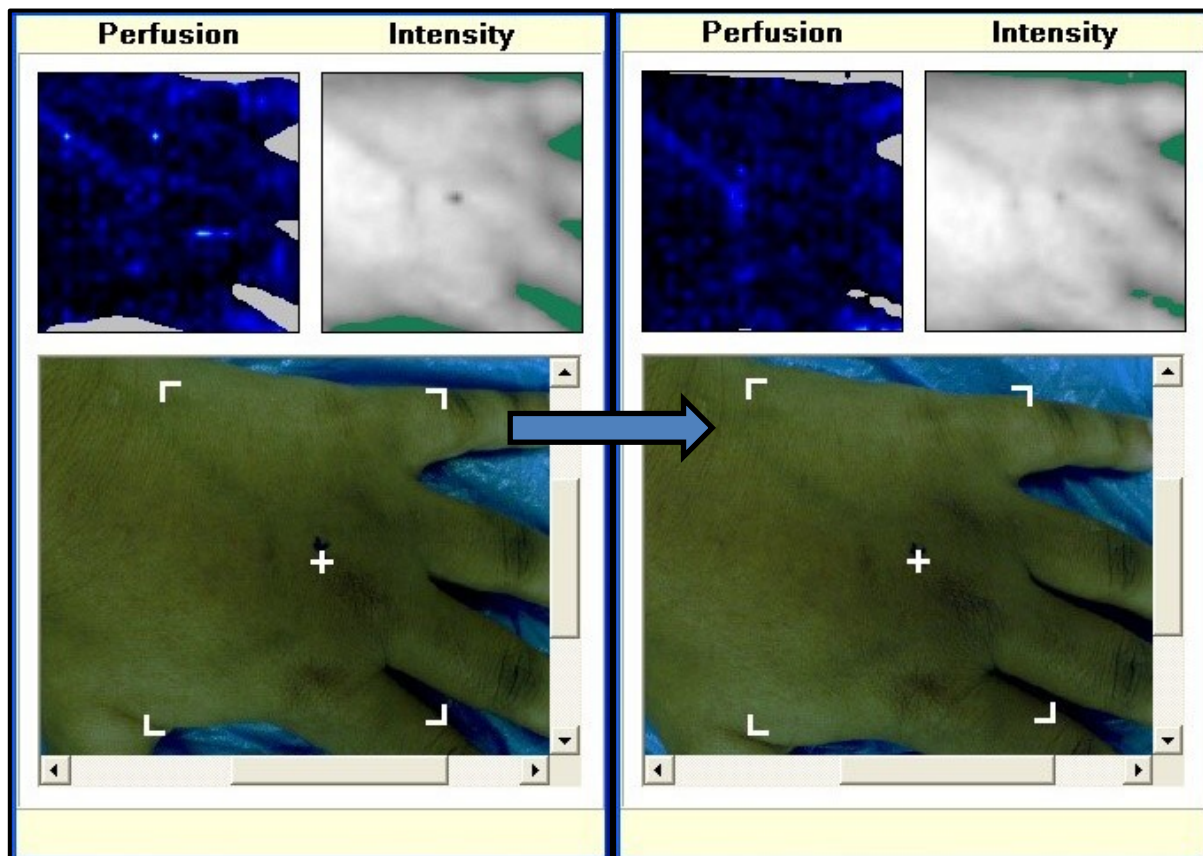
Mezi hodnotami týkajícími se tohoto měření jsou zajímavé hodnoty průměrných perfuzních jednotek především z pohledu prudkého poklesu z 35,95 PU na 17,51 PU. Vzhledem k tomu, že místo snímání jsme se snažili na ruku vyznačit, co nejlépe, abychom opakovaně měřili ve stejném bodě, lze tento pokles s největší pravděpodobností přičíst právě Raynaudově syndromu.

Meteorologické údaje týkající se tohoto měření jsou uvedeny v záznamech o měření (příloha č. 1).

## 11.2 Druhé měření (14. 10. 2014)

Tohoto měření se zúčastnili již všichni výše zmínění probandi a probíhalo podle naplánovaného schématu. Dále proto budou popsány snímky jednotlivých osob, přičemž meteorologické údaje jsou opět uvedeny v záznamech o měření (příloha č. 2).

Snímky níže přiložené patří nejmladšímu, prvnímu probandovi. Vyjádřeno v průměrných perfuzních jednotkách se jedná o 49,00 PU ku 47,01 PU, které byly naměřeny po patnáctiminutové aklimatizaci (tj. pobytu probanda v místnosti).



**Obrázek 11.4.** Srovnání skenů pořízených před (vlevo) a po (vpravo) patnáctiminutové aklimatizaci.

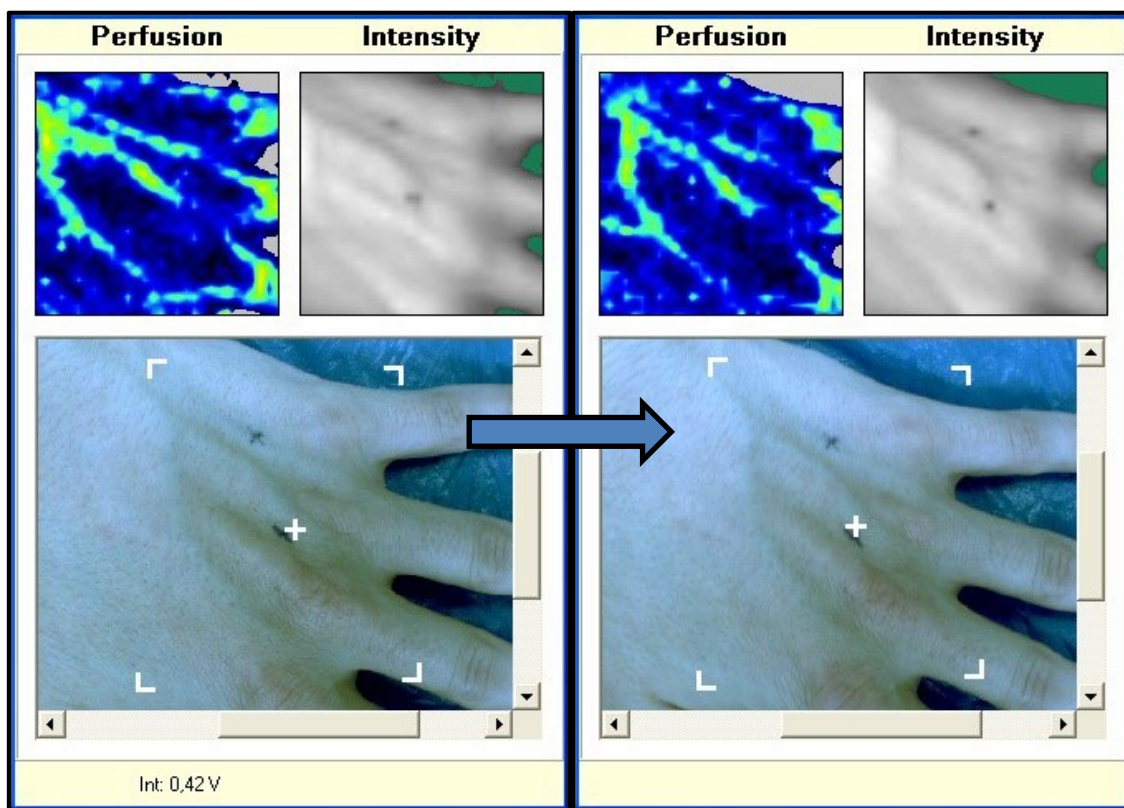
Ze snímků je patrné, že zobrazená perfuze je poměrně nízká, což lze patrně přisoudit objemnější vrstvě podkožní tukové tkáně vzhledem k průniku laserového paprsku 0,5 až 1 mm. Otázkou ovšem zůstává, jestli tato skutečnost není ovlivněna také vyšším obsahem pigmentu v kůži tohoto probanda.



| Čas<br>(hh:mm) | Tělesná<br>teplota [°C]            | Teplota<br>snímané<br>oblasti [°C] | Teplota<br>snímané<br>oblasti [°C] | Teplota<br>v místnosti [°C] | Relativní vlhkost<br>v místnosti [%] |
|----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| 15:34          | 36,7                               | 35,8                               | 34,183                             | 24,1                        | 49,5                                 |
| 15:49          | 36,2                               | 36,3                               | 33,690                             | 24,3                        | 49,5                                 |
|                |                                    |                                    |                                    |                             |                                      |
| Čas<br>(hh:mm) | Minimální naměřená<br>perfúze [PU] |                                    | Maximální naměřená<br>perfúze [PU] |                             | Průměrná hodnota<br>perfúze [PU]     |
| 15:34          | 8,96                               |                                    | 177,50                             |                             | 49,00                                |
| 15:49          | 5,26                               |                                    | 145,58                             |                             | 47,01                                |

**Tabulka 11.3.** Hodnoty vztahující se k druhému měření s probandem číslo 1.

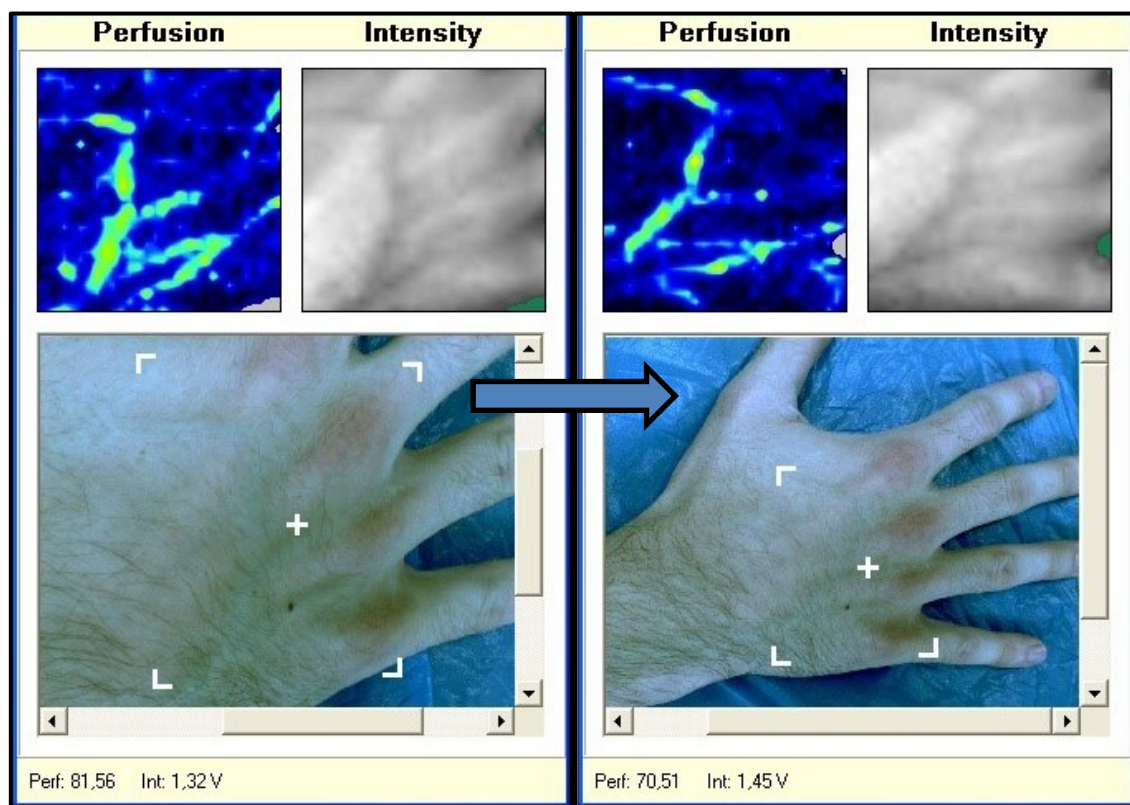
Následují skeny druhého (obrázek 11.5) a třetího (obrázek 11.6) probanda s hodnotami průměrných perfúzních jednotek 107,73 PU ku 106,45 PU, resp. 98,81 PU ku 83,26 PU. Můžeme si také všimnout, že oproti ostatním probandům, kdy byla snímána levá končetina, bylo v případě třetího probanda měřeno dorsum pravé ruky. Stejná oblast u něj byla totiž snímána už dříve v případě kontrolního měření (obrázek 11.1 a 11.2).



**Obrázek 11.5.** Srovnání skenů pořízených před (vlevo) a po (vpravo) patnáctiminutové aklimatizaci.

| Čas<br>(hh:mm) | Tělesná<br>teplota [°C]            | Teplota<br>snímané<br>oblasti [°C] | Teplota<br>snímané<br>oblasti [°C] | Teplota<br>v místnosti [°C] | Relativní vlhkost<br>v místnosti [%] |
|----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| 15:30          | 36,7                               | 36,6                               | 33,274                             | 24,1                        | 49,5                                 |
| 15:45          | 36,4                               | 36,1                               | 33,286                             | 24,3                        | 49,5                                 |
|                |                                    |                                    |                                    |                             |                                      |
| Čas<br>(hh:mm) | Minimální naměřená<br>perfúze [PU] |                                    | Maximální naměřená<br>perfúze [PU] |                             | Průměrná hodnota<br>perfúze [PU]     |
| 15:30          | 15,79                              |                                    | 300,30                             |                             | 107,73                               |
| 15:45          | 28,27                              |                                    | 262,46                             |                             | 106,45                               |

**Tabulka 11.4.** Hodnoty vztahující se k druhému měření s probandem číslo 2.

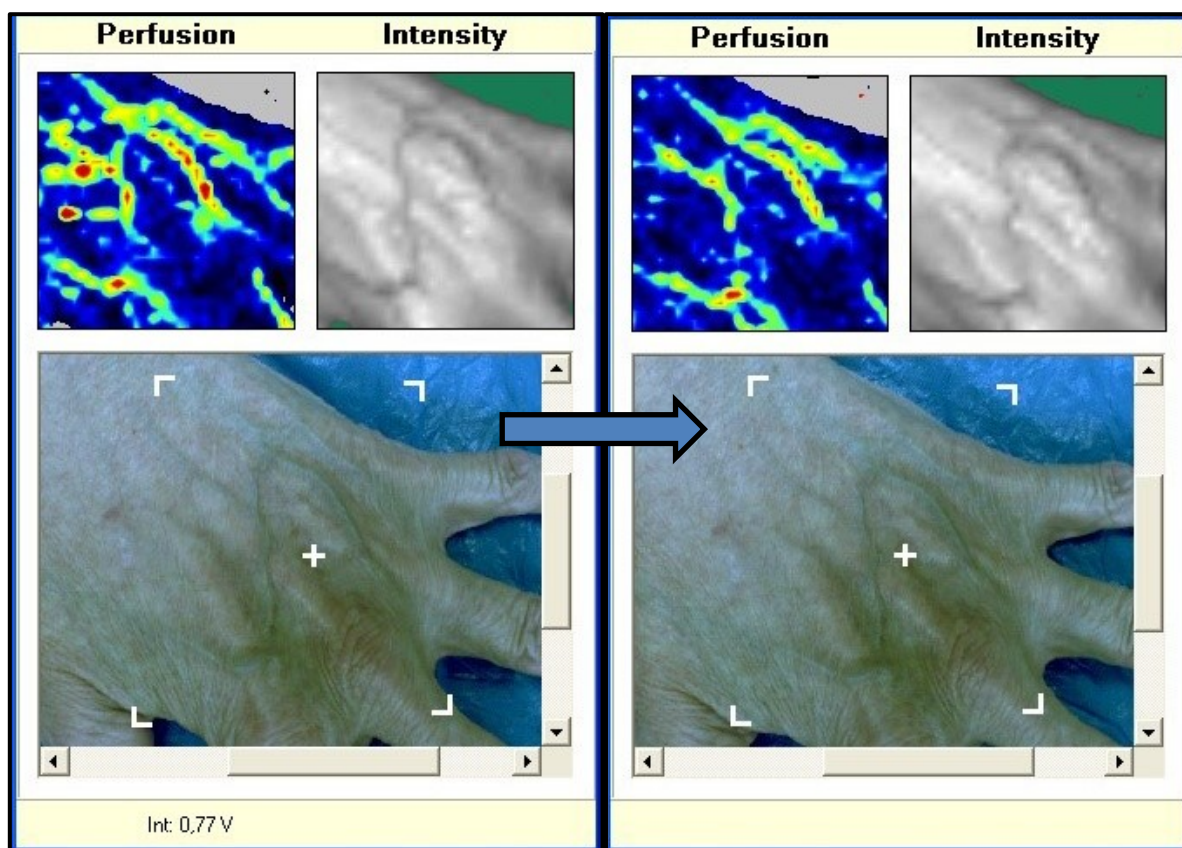


**Obrázek 11.6.** Srovnání skenů pořízených před (vlevo) a po (vpravo) patnáctiminutové aklimatizaci.

| Čas (hh:mm) | Tělesná teplota [°C]            | Teplota snímané oblasti [°C] | Teplota snímané oblasti [°C]    | Teplota v místnosti [°C] | Relativní vlhkost v místnosti [%] |
|-------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| 15:38       | 37,0                            | 36,3                         | 34,063                          | 24,1                     | 49,5                              |
| 15:53       | 36,5                            | 36,4                         | 33,589                          | 24,3                     | 49,5                              |
|             |                                 |                              |                                 |                          |                                   |
| Čas (hh:mm) | Minimální naměřená perfuze [PU] |                              | Maximální naměřená perfuze [PU] |                          | Průměrná hodnota perfuze [PU]     |
| 15:38       | 18,36                           |                              | 261,09                          |                          | 98,81                             |
| 15:53       | 12,06                           |                              | 312,91                          |                          | 83,26                             |

**Tabulka 11.5.** Hodnoty vztahující se k druhému měření s probandem číslo 3.

Jako poslední jsou uvedeny snímky čtvrtého, nejstaršího probanda. V tomto případě dosahovaly hodnoty průměrných perfuzních jednotek 120,77 PU a po aklimatizaci 107,71 PU.



**Obrázek 11.7.** Srovnání skenů pořízených před (vlevo) a po (vpravo) patnáctiminutové aklimatizaci.

Ve srovnání s prvním probandem jsou hodnoty perfuzních jednotek poměrně vysoké a porovnáme-li současně také tloušťku tukové vrstvy kůže obou osob, je zřejmé, že tato skutečnost má na měření skutečně nemalý vliv.

| Čas<br>(hh:mm) | Tělesná<br>teplota [°C]            | Teplota<br>snímané<br>oblasti [°C] | Teplota<br>snímané<br>oblasti [°C] | Teplota<br>v místnosti [°C]      | Relativní vlhkost<br>v místnosti [%] |
|----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| 15:42          | 36,2                               | 36,2                               | 33,702                             | 24,2                             | 48,9                                 |
| 15:57          | 36,3                               | 36,0                               | 33,382                             | 24,3                             | 49,5                                 |
|                |                                    |                                    |                                    |                                  |                                      |
| Čas<br>(hh:mm) | Minimální naměřená<br>perfúze [PU] |                                    | Maximální naměřená<br>perfúze [PU] | Průměrná hodnota<br>perfúze [PU] |                                      |
| 15:42          | 17,71                              |                                    | 795,47                             | 120,77                           |                                      |
| 15:57          | 14,95                              |                                    | 508,18                             | 107,71                           |                                      |

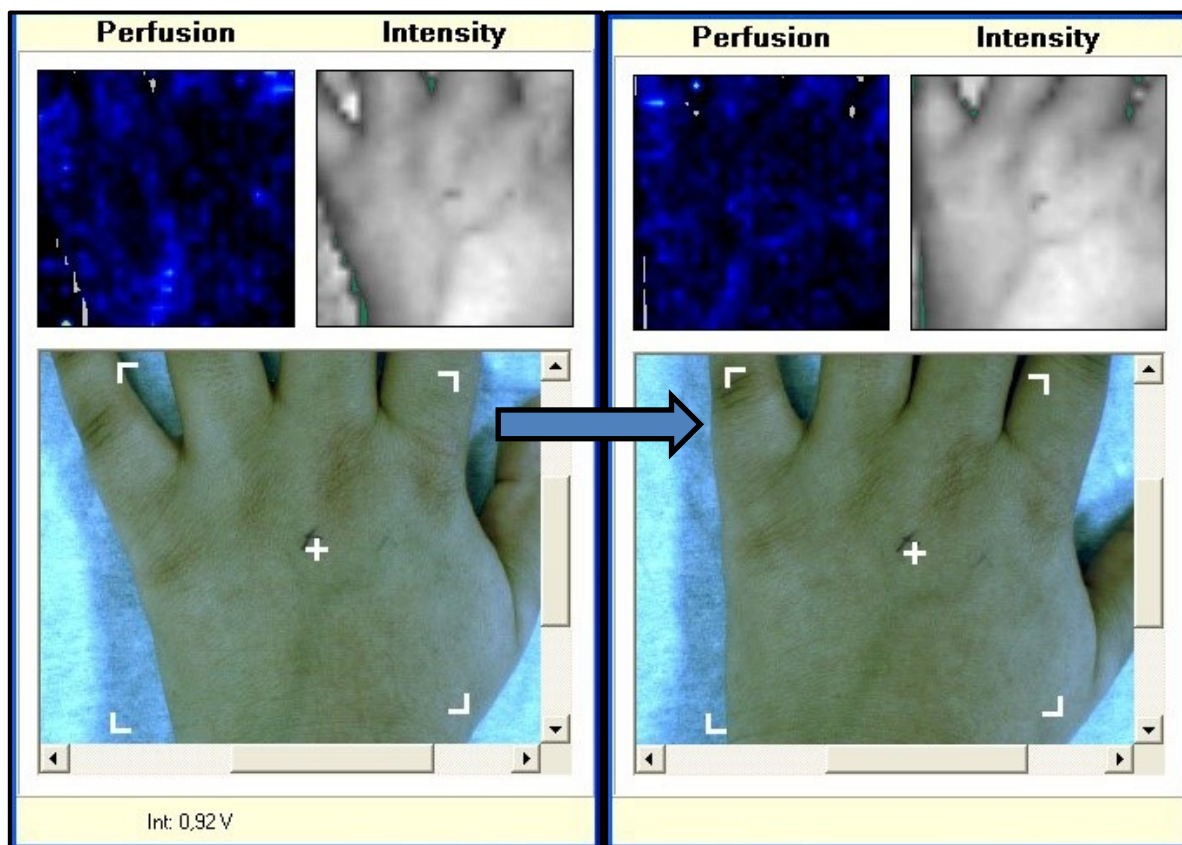
**Tabulka 11.6.** Hodnoty vztahující se k druhému měření s probandem číslo 4.



### 11.3 Třetí měření (14. 2. 2015)

Třetí měření mělo opět charakter měření standardního a probíhalo tedy také za účasti všech probandů. Byly sledovány obdobné parametry ve stejném časovém sledu, jako v případě předchozího snímání. I zde jsou meteorologické údaje také uvedeny v záznamech o měření (příloha č. 3).

Jako první jsou zase uvedeny snímky pořízené u nejmladšího probanda, kdy průměrné perfuzní jednotky dosahovaly v tomto případě 50,63 PU ku 48,21 PU naměřených po patnáctiminutové aklimatizaci.



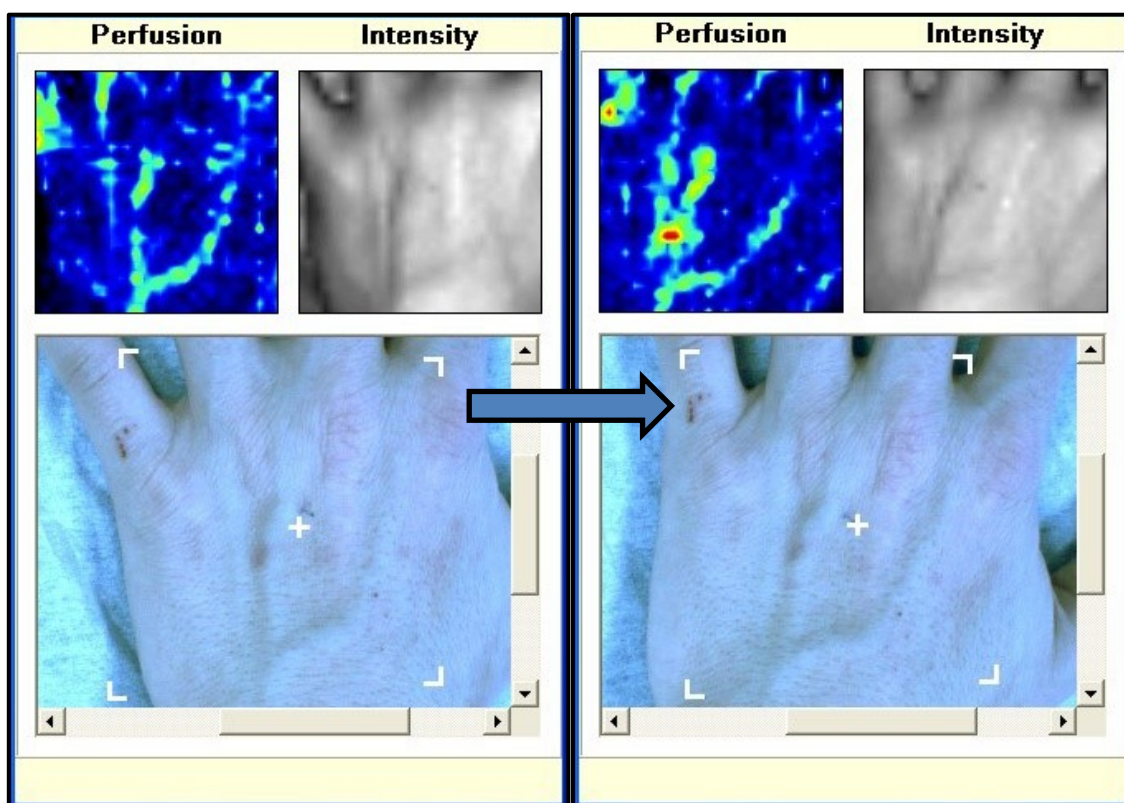
**Obrázek 11.8.** Srovnání skenů pořízených před (vlevo) a po (vpravo) patnáctiminutové aklimatizaci.

Na tomto místě bychom si mohli znova všimnout relativně nízkých hodnot perfuze z důvodu větší tloušťky tukové vrstvy kůže a zvážit vliv zvýšeného množství pigmentu v kůži oproti ostatním probadům.

| Čas<br>(hh:mm) | Tělesná<br>teplota [°C]            | Teplota<br>snímané<br>oblasti [°C] | Teplota<br>snímané<br>oblasti [°C] | Teplota<br>v místnosti [°C] | Relativní vlhkost<br>v místnosti [%] |
|----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| 14:30          | 36,6                               | 36,4                               | 32,850                             | 24,3                        | 18,4                                 |
| 14:45          | 36,6                               | 36,4                               | 32,829                             | 24,5                        | 19,6                                 |
|                |                                    |                                    |                                    |                             |                                      |
| Čas<br>(hh:mm) | Minimální naměřená<br>perfúze [PU] |                                    | Maximální naměřená<br>perfúze [PU] |                             | Průměrná hodnota<br>perfúze [PU]     |
| 14:30          | -4,21                              |                                    | 274,39                             |                             | 50,63                                |
| 14:45          | 4,76                               |                                    | 189,85                             |                             | 48,21                                |

**Tabulka 11.7.** Hodnoty vztahující se k třetímu měření s probandem číslo 1.

Dalším přiloženým obrázkem jsou skeny druhého (obrázek 11.9) a třetího (obrázek 11.10) probanda s hodnotami průměrných perfúzních jednotek 98,35 PU ku 102,83 PU, resp. 83,73 PU ku 79,69 PU. V případě druhého probanda je ovšem měření ovlivněno poněkud nepřesným měřením, konkrétně natočením horní končetiny, při kterém do snímané oblasti zasahuje větší plocha povrchu ruky ve srovnání se snímkem pořízeným před aklimatizací.



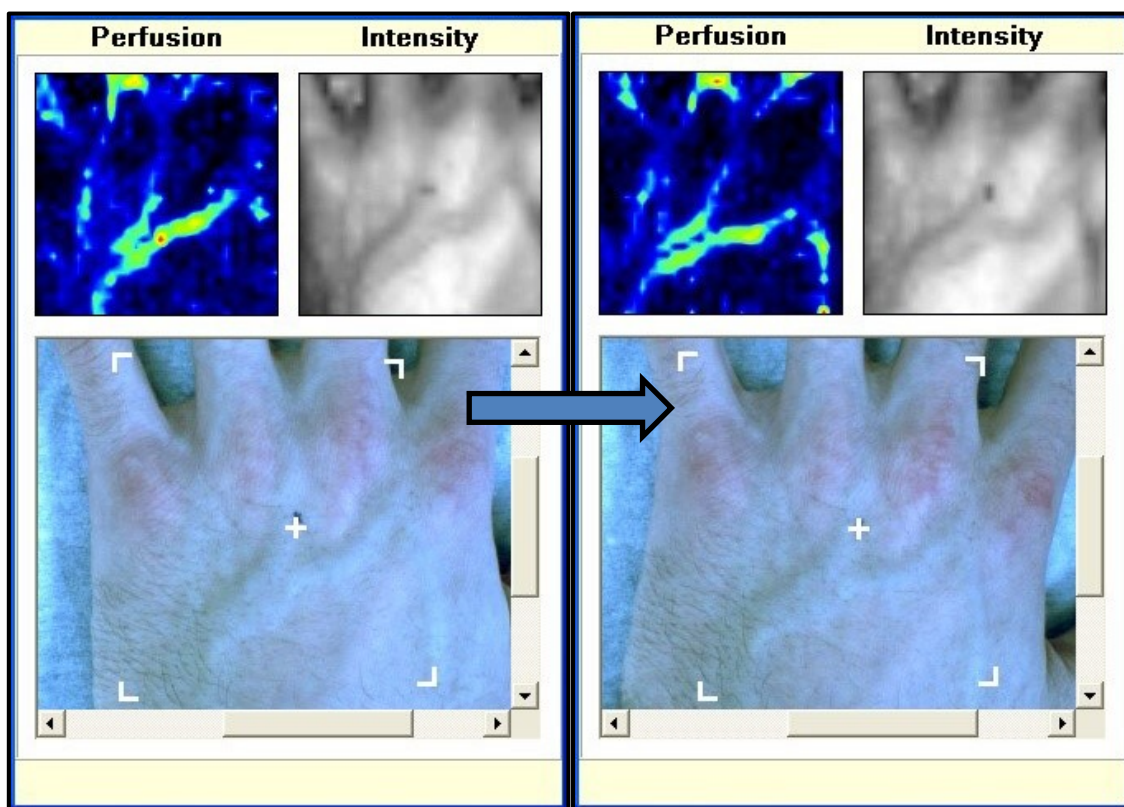
**Obrázek 11.9.** Srovnání skenů pořízených před (vlevo) a po (vpravo) patnáctiminutové aklimatizaci.

| Čas<br>(hh:mm) | Tělesná<br>teplota [°C] | Teplota<br>snímané<br>oblasti [°C] | Teplota<br>snímané<br>oblasti [°C] | Teplota<br>v místnosti [°C] | Relativní vlhkost<br>v místnosti [%] |
|----------------|-------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| 14:34          | 37,2                    | 36,6                               | 34,062                             | 24,4                        | 8,6                                  |
| 14:49          | 36,7                    | 36,7                               | 34,341                             | 24,5                        | 18,6                                 |

| Čas<br>(hh:mm) | Minimální naměřená<br>perfúze [PU] | Maximální naměřená<br>perfúze [PU] | Průměrná hodnota<br>perfúze [PU] |
|----------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| 14:34          | 0,47                               | 330,35                             | 98,35                            |
| 14:49          | 3,68                               | 512,88                             | 102,83                           |

**Tabulka 11.8.** Hodnoty vztahující se k třetímu měření s probandem číslo 2.



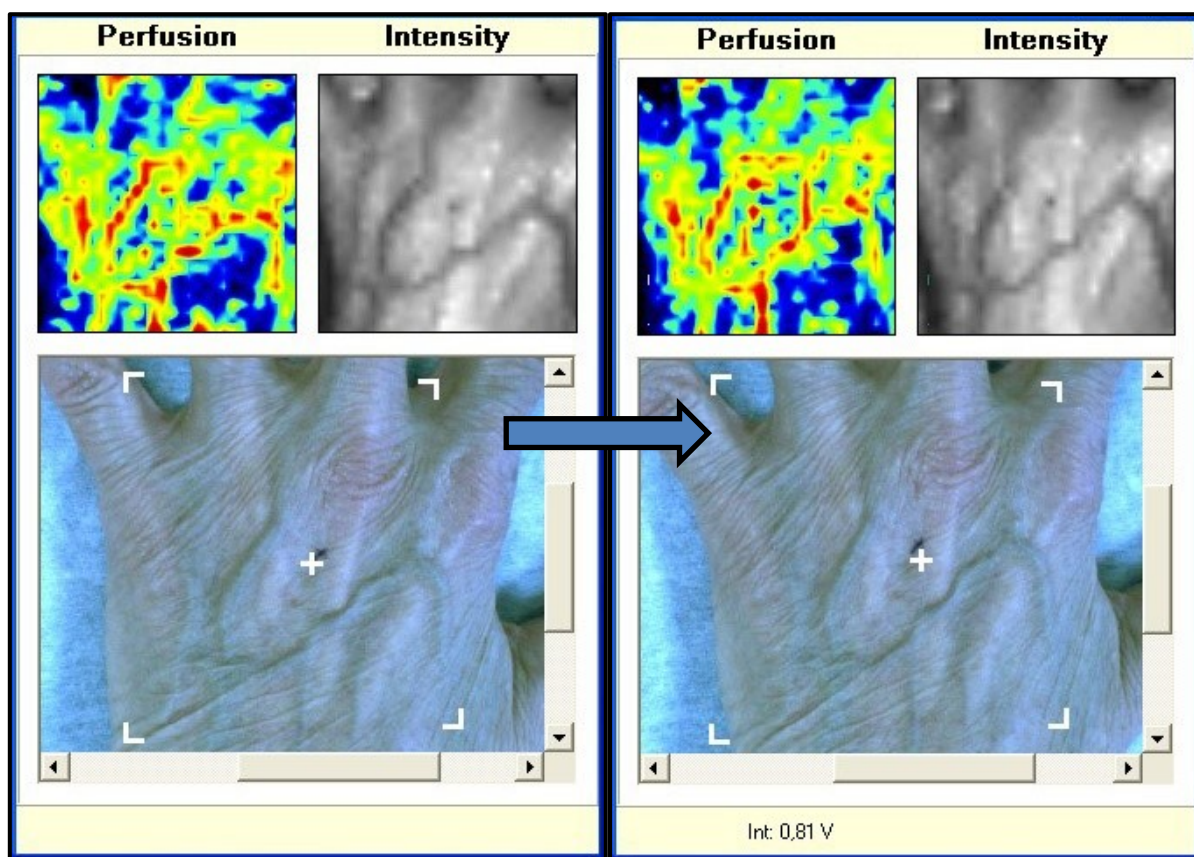
**Obrázek 11.10.** Srovnání skenů pořízených před (vlevo) a po (vpravo) patnáctiminutové aklimatizaci.



| Čas<br>(hh:mm) | Tělesná<br>teplota [°C]            | Teplota<br>snímané<br>oblasti [°C] | Teplota<br>snímané<br>oblasti [°C] | Teplota<br>v místnosti [°C] | Relativní vlhkost<br>v místnosti [%] |
|----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| 14:42          | 37,0                               | 36,5                               | 33,340                             | 24,4                        | 18,6                                 |
| 14:57          | 37,0                               | 36,5                               | 33,447                             | 24,4                        | 21,1                                 |
|                |                                    |                                    |                                    |                             |                                      |
| Čas<br>(hh:mm) | Minimální naměřená<br>perfúze [PU] |                                    | Maximální naměřená<br>perfúze [PU] |                             | Průměrná hodnota<br>perfúze [PU]     |
| 14:42          | 9,94                               |                                    | 424,67                             |                             | 83,73                                |
| 14:57          | 3,61                               |                                    | 421,36                             |                             | 79,69                                |

**Tabulka 11.9.** Hodnoty vztahující se k třetímu měření s probandem číslo 3.

Na posledním níže uvedeném obrázku jsou snímky ruky čtvrtého probanda. V tomto případě dosahovaly hodnoty průměrných perfúzních jednotek 191,71 PU a po aklimatizaci 184,70 PU.



**Obrázek 11.11.** Srovnání skenů pořízených před (vlevo) a po (vpravo) patnáctiminutové aklimatizaci.

Na perfúzních skenech můžeme v tomto případě vidět prokrvení naprosto perfektně, jelikož proband je již (s ohledem na svůj věk) poněkud kachetické postavy, s čímž souvisí již zmiňovaný nižší objem podkožní tukové tkáně. Opět se tedy nabízí srovnání skenů s měřením u prvního probanda.



| Čas<br>(hh:mm) | Tělesná<br>teplota [°C]            | Teplota<br>snímané<br>oblasti [°C] | Teplota<br>snímané<br>oblasti [°C] | Teplota<br>v místnosti [°C]      | Relativní vlhkost<br>v místnosti [%] |
|----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| 14:38          | 36,7                               | 37,2                               | 34,801                             | 24,3                             | 18,9                                 |
| 14:53          | 36,2                               | 37,0                               | 34,645                             | 24,4                             | 19,5                                 |
|                |                                    |                                    |                                    |                                  |                                      |
| Čas<br>(hh:mm) | Minimální naměřená<br>perfúze [PU] |                                    | Maximální naměřená<br>perfúze [PU] | Průměrná hodnota<br>perfúze [PU] |                                      |
| 14:38          | 9,73                               |                                    | 722,78                             | 191,71                           |                                      |
| 14:53          | 2,05                               |                                    | 611,53                             | 184,70                           |                                      |

**Tabulka 11.10.** Hodnoty vztahující se k třetímu měření s probandem číslo 4.

## Diskuze a závěr

K naplnění cílů této bakalářské práce bylo nutné nastudovat mnoho materiálů týkajících se laserové dopplerometrie a možností jejího využití v medicíně. Teprve na základě těchto faktů jsem pak mohl přistoupit k řešení vlastní otázky teplotních vlivů na snímání metodou LDPI za pomoci přístroje PeriScan PIM 3. Zároveň jsem měl však také v rámci teoretické přípravy příležitost, seznámit se předem s tímto zařízením a podmínkami, ve kterých je provozováno. To bylo při přípravě experimentálních měření zpracovaných v praktické části práce neméně důležité.

Oproti původním plánům bylo sice nutné, především z organizačních důvodů, snížit nakonec jak celkový počet vybraných probandů, tak i počet měření, ovšem již první, kontrolní, měření spolu s chladovým testem potvrdilo mou původní hypotézu – zobrazená perfuze distální části snímané horní končetiny je v chladnějším prostředí menší než při zvýšené okolní teplotě. Tento fakt je důsledkem známé a zcela fyziologické reakce (vazokonstrikce, resp. vazodilatace) periferně uložených krevních cév lidského těla.

Další dvě měření v návaznosti na výše zmíněnou skutečnost potvrdila, že je vhodné provádět jednotlivá snímání přístrojem PeriScan PIM 3 až po určité době pobytu potenciálního pacienta ve vyšetřovací místnosti. Rozličné vnější podmínky, a zejména teplota, totiž mohou mít na výsledek měření reálný vliv.

Z konzultací na Popáleninovém centru ve Fakultní nemocnici Ostrava vyplynulo, že převážná většina pacientů, kteří jsou zde pomocí metody LDPI vyšetřováni, patří mezi osoby na tomto oddělení dlouhodobě hospitalizované, a tudíž je jejich pobyt v teplotně stálém prostředí spolehlivě zajištěn. Přesto věřím tomu, že výsledky mé práce mohou jistým způsobem na význam této skutečnosti alespoň upozornit.

Rád bych na tomto místě však také ještě zmínil, že během měření byla vypořádána jistá souvislost mezi mírou zobrazené perfuze a tloušťkou podkožního tuku. Vzhledem k nestejnomyšlnému rozložení tukové tkáně v rámci celého těla se tedy nabízí otázka, jakou vypovídající hodnotu by měly například snímky prokrvení kůže v oblasti krajiny břišní. Je pochopitelné, že podobné experimentální měření by muselo zahrnovat mnohem širší a početnější spektrum osob. Dle mého názoru, bychom ale možná mohli dojít k zajímavým závěrům.

# Literatura a jiné zdroje

- [1] EYK, Ng, Fok SC a Goh CT. Case studies of laser Doppler imaging system for clinical diagnosis applications and management. *Journal of Medical Engineering*. 2003, vol. 27, issue 5, s. 200-206. DOI: 10.1080/0309190031000096676. Dostupné z: <http://informahealthcare.com/doi/abs/10.1080/0309190031000096676>
- [2] AGARWAL, Sharad C., John ALLEN, Alan MURRAY, Ian F. PURCELL, Terence A KING a Ariane L HERRICK. Laser Doppler assessment of dermal circulatory changes in people with coronary artery disease. *Microvascular Research*. 2012, vol. 84, issue 1, s. 55-59. DOI: 10.1016/j.mvr.2012.02.002. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0026286212000428>
- [3] CLARK, Stuart, Graham DUNN, Tonia MOORE, Malcolm JAYSON, Terence A KING a Ariane L HERRICK. Comparison of thermography and laser Doppler imaging in the assessment of Raynaud's phenomenon. *Microvascular Research*. 2003, vol. 66, issue 1, s. 73-76. DOI: 10.1016/S0026-2862(03)00018-9. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0026286203000189>
- [4] LEAHY, Martin J. *Microcirculation imaging*. Weinheim: Wiley-Blackwell, c2012, xviii, 393 p. ISBN 978-3-527-65122-1
- [5] KARETOVÁ, Debora a František STANĚK. *Angiologie pro praxi*. 1. vyd. Praha: MAXDORF, 2002, 311 s. ISBN 80-859-1252-X.
- [6] Nejmenší polovodičový laser na světě [online]. 2009 [cit. 2015-01-20]. ISSN 1214-1674. Dostupné z: [http://www.aldebaran.cz/bulletin/2009\\_45\\_las.php](http://www.aldebaran.cz/bulletin/2009_45_las.php)
- [7] Laser. DARLING, David. The Worlds of David Darling [online]. [cit. 2015-01-20]. Dostupné z: <http://www.daviddarling.info/encyclopedia/L/laser.html>
- [8] Laser construction - Wikipedia, the free encyclopedia. Wikipedia, the free encyclopedia [online]. 2014 [cit. 2014-09-14]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Laser\\_construction#mediaviewer/File:Lasercons.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/Laser_construction#mediaviewer/File:Lasercons.svg)
- [9] Exciting the atom | Mini Physics - Free Physics Notes And Resources. Mini Physics - Free Physics Notes And Resources [online]. 2012 [cit. 2014-09-14]. Dostupné z: <http://www.miniphysics.com/exciting-atom.html>
- [10] Stimulated emission -- Encyclopedia Britannica. *Encyclopedia britannica* [online]. 2006 [cit. 2014-09-14]. Dostupné z: <http://www.britannica.com/EBchecked/media/90017/Stimulated-emission-in-a-laser-cavity?topicId=330874>
- [11] NIEMZ, Markolf H. *Laser-tissue interactions: fundamentals and applications*. 3rd, enlarged ed. New York: Springer, c2004, xvi, 305 p. ISBN 35-404-0553-4.

- [12] REICHL, Jaroslav. Dopplerův jev (efekt) :: MEF. Fyzika :: MEF [online]. 2010 [cit. 2015-01-21]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/175-doppleruv-jev-efekt>
- [13] Dopplerův jev – Wikipedie. Wikipedie, otevřená encyklopedie [online]. 2014 [cit. 2015-01-21]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Doppler%C5%AFv\\_jev](http://cs.wikipedia.org/wiki/Doppler%C5%AFv_jev)
- [14] Pics For > Doppler Effect Sound. Pixshark.com - image galleries with a bite! [online]. 2013 [cit. 2015-04-17]. Dostupné z: <http://pixshark.com/doppler-effect-sound.htm>
- [15] Dopplerův jev. WikiSkripta [online]. 2012 [cit. 2015-01-21]. Dostupné z: [http://www.wikiskripta.eu/index.php/Doppler%C5%AFv\\_jev](http://www.wikiskripta.eu/index.php/Doppler%C5%AFv_jev)
- [16] ČIHÁK, Radomír. *Anatomie 3. 2., upr. a dopl. vyd.* Praha: Grada, 2004, 673 s. ISBN 80-247-1132-X.
- [17] JUNQUEIRA, Luiz Carlos Uchôa, José CARNEIRO a Robert O KELLEY. *Základy histologie*. 1. vyd. v ČR. Jinočany: H, c1997, vi, 502 s. ISBN 80-857-8737-7.
- [18] PARRAMÓN, José María. *Atlas anatomie*. České vyd. 1. Praha: Svojtka a Vašut, 1996. Poznej a chraň své tělo. ISBN 8071800929.
- [19] ŠTORK, Jiří. *Dermatovenerologie*. 1. vyd. Praha: Galén, 2008, xv, 502, [2] s. ISBN 978-807-2623-716.
- [20] Kožní soustava | Anatomie lidského těla – obrázky. *Anatomie lidského těla – obrázky* [online]. [cit. 2014-07-18]. Dostupné z: <http://anatomie-lidskeho-tela.kvalitne.cz/kozni-soustava.html>
- [21] KITTNAR, Otomar. *Lékařská fyziologie*. 1. vyd. Praha: Grada, 2011, 790 s. ISBN 978-802-4730-684.
- [22] FEYNMAN, Richard Phillips, Robert B LEIGHTON a Matthew SANDS. Feynmanovy přednášky z fyziky s řešenými příklady. 1. vyd. Havlíčkův Brod: Fragment, 2000, 732 s. ISBN 80-7200-405-01.
- [23] Temperature. CDX eTextbook free online automotive textbook and encyclopedia [online]. 2010 [cit. 2015-01-21]. Dostupné z: <http://www.cdxtextbook.com/assocStudies/supScience/uom/temperature.html>
- [24] Termoregulace – WikiSkripta. WikiSkripta [online]. 2013 [cit. 2015-01-21]. Dostupné z: <http://www.wikiskripta.eu/index.php/Termoregulace>
- [25] REICHL, Jaroslav. Teplota a její měření :: MEF. Fyzika :: MEF [online]. 2009 [cit. 2015-01-21]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/570-teplota-a-jeji-mereni>
- [26] Teploměr – Wikipedie. Wikipedie, otevřená encyklopedie [online]. 2015 [cit. 2015-01-21]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Teplom%C4%9Br>

- [27] PeriScan PIM 3 - Laser Doppler Imager. *Perimed-Peripheral vascular diagnosis made intelligent* [online]. 2014 [cit. 2015-04-04]. Dostupné z: <http://www.perimed-instruments.com/products/periscan-pim-3>
- [28] High Resolution Laser Doppler Imager . High resolution laser Doppler imager with best spatial resolution of 100 microns. Moor Instruments. Moor Instruments - Laser Doppler Blood Flow Assessment. Moor Instruments [online]. 2014 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: <http://gb.moor.co.uk/product/moorldi2-hir-high-resolution-laser-doppler-imager/242>
- [29] Fluke Calibration 1523/1524 Handheld Thermometer Readout. Fluke – Answering Electronic and Electrical Needs [online]. 2014 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: <http://www.fluke.com/fluke/m3en/Process-Calibration-Tools/Temperature-Calibrators/FCal-1523-1524-Handheld-Thermometer-Readout.htm?PID=54426>
- [30] Visiomed - For a better life - ThermoFlash. Visiomed - For a better life [online]. 2014 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: <http://en.visiomed-lab.com/index.asp?ID=98&IDF=196>
- [31] Omron M6 Comfort | Blood pressure monitoring | Omron Healthcare. Home | Omron Healthcare [online]. 2014 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: <http://www.omron-healthcare.com/eu/en/our-products/blood-pressure-monitoring/m6comfort>
- [32] ::: Prohlížeč webových kamer ČHMÚ ::: ::: Prohlížeč webových kamer ČHMÚ ::: [online]. 2015 [cit. 2015-04-22]. Dostupné z: [http://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/kam/prohlizec.html?cam=ostrava\\_poruba](http://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/kam/prohlizec.html?cam=ostrava_poruba)
- [33] Pics For > Burns Treatment. Pixshark.com - image galleries with a bite! [online]. 2013 [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: <http://pixshark.com/burns-treatment.htm>
- [34] POVÝŠIL, Ctibor a Ivo ŠTEINER. Speciální patologie. 2., dopl. a přeprac. vyd. Praha: Karolinum, c2007, xix, 430 s. ISBN 978-80-246-1442-7.

# Seznam příloh

**Příloha č. 1:** Záznamy o měření z prvního měření.

**Příloha č. 2:** Diferenční sken z prvního měření vytvořený pomocí algoritmu DSPTA (PIPPA)

**Příloha č. 3:** Záznamy o měření z druhého měření.

**Příloha č. 4:** Diferenční skeny z druhého měření vytvořené pomocí algoritmu DSPTA (PIPPA)

**Příloha č. 5:** Záznamy o měření ze třetího měření.

**Příloha č. 6:** Diferenční skeny ze třetího měření vytvořené pomocí algoritmu DSPTA (PIPPA)

## Přílohy

### Příloha č. 1: Záznamy o měření z prvního měření.

## Záznam o měření

|   |             |
|---|-------------|
| Datum měření: 23. 7. 2014                                     |             |
| Jméno: <b>proband č. 3</b>                                    | Věk: 28 let |
| Aktuální onemocnění:  |             |
| Chronická onemocnění: viz. kapitola 8.1 (str. 22)             |             |
| Užívané léky: viz. kapitola 8.1 (str. 22)                     |             |
| Jiné poznámky: teplota chladné vody v umyvadle byla 14,758 °C |             |

tab. 1: relevantní údaje týkající se probanda ve vztahu k měření

| Čas<br>(hh:mm) | Tělesná<br>teplota [°C] | Teplota<br>snímané<br>oblasti [°C] | Teplota<br>snímané<br>oblasti [°C] | Teplota<br>v místnosti [°C] | Relativní vlhkost<br>v místnosti [%] |
|----------------|-------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| 14:55          | 36,7                    | 36,5                               | 32,078                             | 24,0                        | 63,1                                 |
| 15:04          | 37,3                    | Low*                               | 22,720                             | 23,8                        | 64,3                                 |
| 15:19          | 37,2                    | 36,2                               | 30,587                             | 23,7                        | 58,7                                 |
| 15:24          | 36,9                    | 36,4                               | 31,916                             | 23,3                        | 60,5                                 |

tab. 2: čas měření, tělesné údaje probanda, podmínky v místnosti

| Teplota [°C]     | Přízemní teplota [°C] | Rychlost větru [m/s] | Max. rychlost větru [m/s] |
|------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------|
| 17               | 17                    | 1                    | 2,5                       |
| Rel. vlhkost [%] | Tlak vzduchu [hPa]    | Srážky [mm]          |                           |
| 89               | 1013,8                | 0,25                 |                           |

tab. 3: aktuální stav počasí Ostrava – Poruba

\*hodnota pod měřitelnou mez přístroje

# Záznam o měření

|  |             |
|--|-------------|
| Datum měření: 23. 7. 2014                                      |             |
| Jméno: <b>proband trpící Raynaudovým syndromem</b>             | Věk: 40 let |
| Aktuální onemocnění:   |             |
| Chronická onemocnění: Raynaudův syndrom, esenciální hypertenze |             |
| Užívané léky: Prestarium Neo Combi                             |             |
| Jiné poznámky: teplota chladné vody v umyvadle byla 15,071 °C  |             |

tab. 1: relevantní údaje týkající se probanda ve vztahu k měření

| Čas<br>(hh:mm) | Tělesná<br>teplota [°C] | Teplota<br>snímané<br>oblasti [°C] | Teplota<br>snímané<br>oblasti [°C] | Teplota<br>v místnosti [°C] | Relativní vlhkost<br>v místnosti [%] |
|----------------|-------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| 14:58          | 36,7                    | Low*                               | 28,561                             | 23,7                        | 60,7                                 |
| 15:07          | 36,6                    | Low*                               | 20,457                             | 23,5                        | 59,7                                 |
|                |                         |                                    |                                    |                             |                                      |
|                |                         |                                    |                                    |                             |                                      |

tab. 2: čas měření, tělesné údaje probanda, podmínky v místnosti

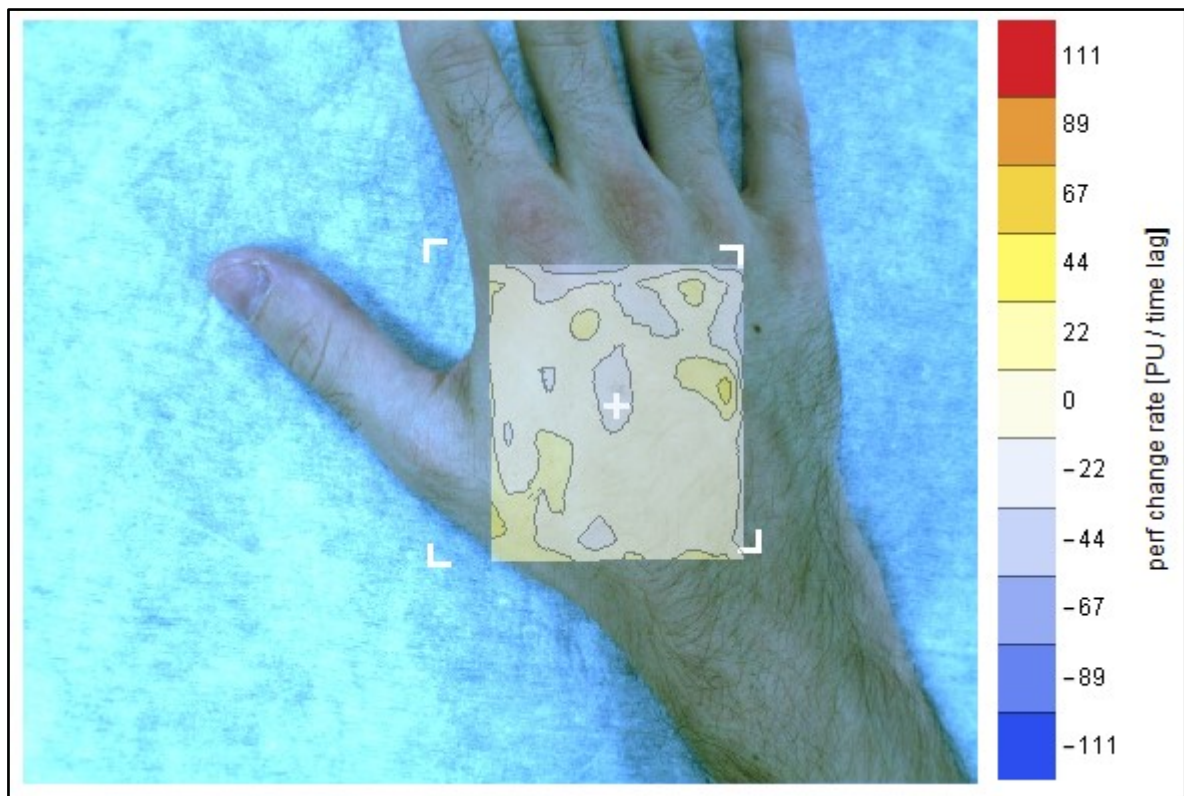
| Teplota [°C]     | Přízemní teplota [°C] | Rychlost větru [m/s] | Max. rychlost větru [m/s] |
|------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------|
| 17               | 17                    | 1                    | 2,5                       |
| Rel. vlhkost [%] | Tlak vzduchu [hPa]    | Srážky [mm]          |                           |
| 89               | 1013,8                | 0,25                 |                           |

tab. 3: aktuální stav počasí Ostrava – Poruba

\*hodnota pod měřitelnou mez přístroje



**Příloha č. 2: Diferenční sken z prvního měření (PIPPA, resp. DSPTA).**



obr. 1: diferenční sken mezi prvním a třetím snímkem probanda č. 3

Příloha č. 3: Záznamy o měření z druhého měření.

# Záznam o měření

|   |            |
|---|------------|
| Datum měření: 14. 10. 2014                        |            |
| Jméno: <b>proband č. 1</b>                        | Věk: 7 let |
| Aktuální onemocnění:                              |            |
| Chronická onemocnění: viz. kapitola 8.1 (str. 22) |            |
| Užívané léky: viz. kapitola 8.1 (str. 22)         |            |
| Jiné poznámky: tlak krve byl 103/61 [mm Hg]       |            |

tab. 1: relevantní údaje týkající se probanda ve vztahu k měření

| Čas<br>(hh:mm) | Tělesná<br>teplota [°C] | Teplota<br>snímané<br>oblasti [°C] | Teplota<br>snímané<br>oblasti [°C] | Teplota<br>v místnosti [°C] | Relativní vlhkost<br>v místnosti [%] |
|----------------|-------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| 15:34          | 36,7                    | 35,8                               | 34,183                             | 24,1                        | 49,5                                 |
| 15:49          | 36,2                    | 36,3                               | 33,690                             | 24,3                        | 49,5                                 |
|                |                         |                                    |                                    |                             |                                      |
|                |                         |                                    |                                    |                             |                                      |

tab. 2: čas měření, tělesné údaje probanda, podmínky v místnosti

| Teplota [°C]     | Přízemní teplota [°C] | Rychlost větru [m/s] | Max. rychlost větru [m/s] |
|------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------|
| 15               | 15                    | 3,5                  | 7                         |
| Rel. vlhkost [%] | Tlak vzduchu [hPa]    | Srážky [mm]          |                           |
| 87               | 1014,5                | 0                    |                           |

tab. 3: aktuální stav počasí Ostrava – Poruba

# Záznam o měření

|   |             |
|---|-------------|
| Datum měření: 14. 10. 2014                        |             |
| Jméno: <b>proband č. 2</b>                        | Věk: 28 let |
| Aktuální onemocnění:                              |             |
| Chronická onemocnění: viz. kapitola 8.1 (str. 22) |             |
| Užívané léky: viz. kapitola 8.1 (str. 22)         |             |
| Jiné poznámky: tlak krve byl 105/68 [mm Hg]       |             |

tab. 1: relevantní údaje týkající se probanda ve vztahu k měření

| Čas<br>(hh:mm) | Tělesná<br>teplota [°C] | Teplota<br>snímané<br>oblasti [°C] | Teplota<br>snímané<br>oblasti [°C] | Teplota<br>v místnosti [°C] | Relativní vlhkost<br>v místnosti [%] |
|----------------|-------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| 15:30          | 36,7                    | 36,6                               | 33,274                             | 24,1                        | 49,5                                 |
| 15:45          | 36,4                    | 36,1                               | 33,286                             | 24,3                        | 49,5                                 |
|                |                         |                                    |                                    |                             |                                      |
|                |                         |                                    |                                    |                             |                                      |

tab. 2: čas měření, tělesné údaje probanda, podmínky v místnosti

| Teplota [°C]     | Přízemní teplota [°C] | Rychlost větru [m/s] | Max. rychlost větru [m/s] |
|------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------|
| 15               | 15                    | 3,5                  | 7                         |
| Rel. vlhkost [%] | Tlak vzduchu [hPa]    | Srážky [mm]          |                           |
| 87               | 1014,5                | 0                    |                           |

tab. 3: aktuální stav počasí Ostrava – Poruba

# Záznam o měření

|   |             |
|---|-------------|
| Datum měření: 14. 10. 2014                        |             |
| Jméno: <b>proband č. 3</b>                        | Věk: 28 let |
| Aktuální onemocnění:                              |             |
| Chronická onemocnění: viz. kapitola 8.1 (str. 22) |             |
| Užívané léky: viz. kapitola 8.1 (str. 22)         |             |
| Jiné poznámky: tlak krve byl 122/71 [mm Hg]       |             |

tab. 1: relevantní údaje týkající se probanda ve vztahu k měření

| Čas<br>(hh:mm) | Tělesná<br>teplota [°C] | Teplota<br>snímané<br>oblasti [°C] | Teplota<br>snímané<br>oblasti [°C] | Teplota<br>v místnosti [°C] | Relativní vlhkost<br>v místnosti [%] |
|----------------|-------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| 15:38          | 37,0                    | 36,3                               | 34,063                             | 24,1                        | 49,5                                 |
| 15:53          | 36,5                    | 36,4                               | 33,589                             | 24,3                        | 49,5                                 |
|                |                         |                                    |                                    |                             |                                      |
|                |                         |                                    |                                    |                             |                                      |

tab. 2: čas měření, tělesné údaje probanda, podmínky v místnosti

| Teplota [°C]     | Přízemní teplota [°C] | Rychlost větru [m/s] | Max. rychlost větru [m/s] |
|------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------|
| 15               | 15                    | 3,5                  | 7                         |
| Rel. vlhkost [%] | Tlak vzduchu [hPa]    | Srážky [mm]          |                           |
| 87               | 1014,5                | 0                    |                           |

tab. 3: aktuální stav počasí Ostrava – Poruba

# Záznam o měření

|   |             |
|---|-------------|
| Datum měření: 14. 10. 2014                        |             |
| Jméno: <b>proband č. 4</b>                        | Věk: 72 let |
| Aktuální onemocnění:                              |             |
| Chronická onemocnění: viz. kapitola 8.1 (str. 22) |             |
| Užívané léky: viz. kapitola 8.1 (str. 22)         |             |
| Jiné poznámky: tlak krve byl 126/70 [mm Hg]       |             |

tab. 1: relevantní údaje týkající se probanda ve vztahu k měření

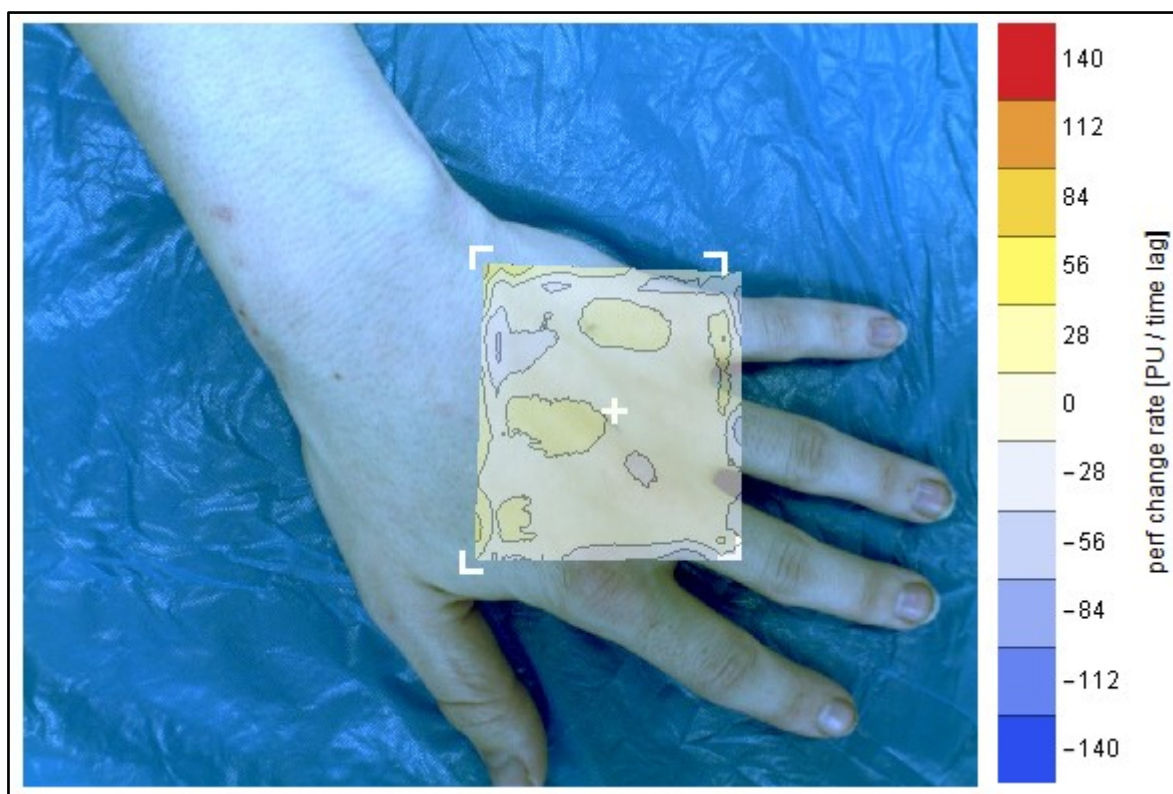
| Čas<br>(hh:mm) | Tělesná<br>teplota [°C] | Teplota<br>snímané<br>oblasti [°C] | Teplota<br>snímané<br>oblasti [°C] | Teplota<br>v místnosti [°C] | Relativní vlhkost<br>v místnosti [%] |
|----------------|-------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| 15:42          | 36,2                    | 36,2                               | 33,702                             | 24,2                        | 48,9                                 |
| 15:57          | 36,3                    | 36,0                               | 33,382                             | 24,3                        | 49,5                                 |
|                |                         |                                    |                                    |                             |                                      |
|                |                         |                                    |                                    |                             |                                      |

tab. 2: čas měření, tělesné údaje probanda, podmínky v místnosti

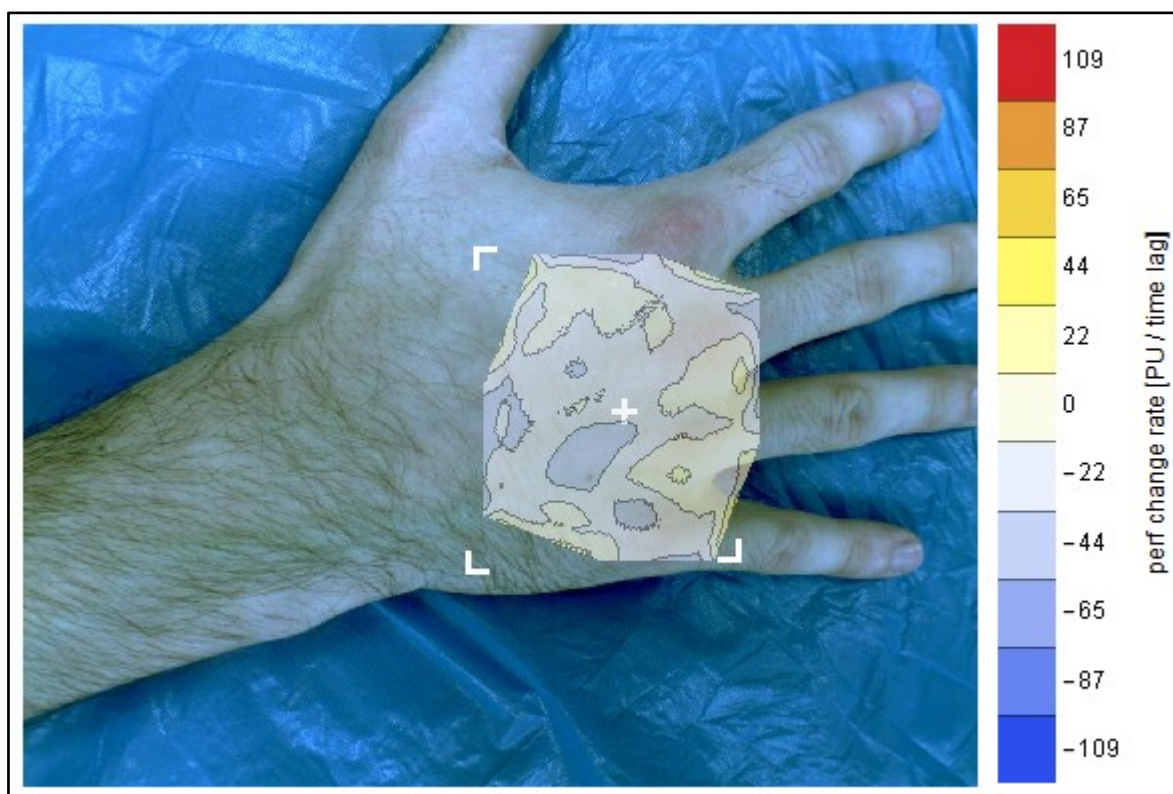
| Teplota [°C]     | Přízemní teplota [°C] | Rychlost větru [m/s] | Max. rychlost větru [m/s] |
|------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------|
| 15               | 15                    | 3,5                  | 7                         |
| Rel. vlhkost [%] | Tlak vzduchu [hPa]    | Srážky [mm]          |                           |
| 87               | 1014,5                | 0                    |                           |

tab. 3: aktuální stav počasí Ostrava – Poruba

**Příloha č. 4: Diferenční skeny z druhého měření (PIPPA, resp. DSPTA).**

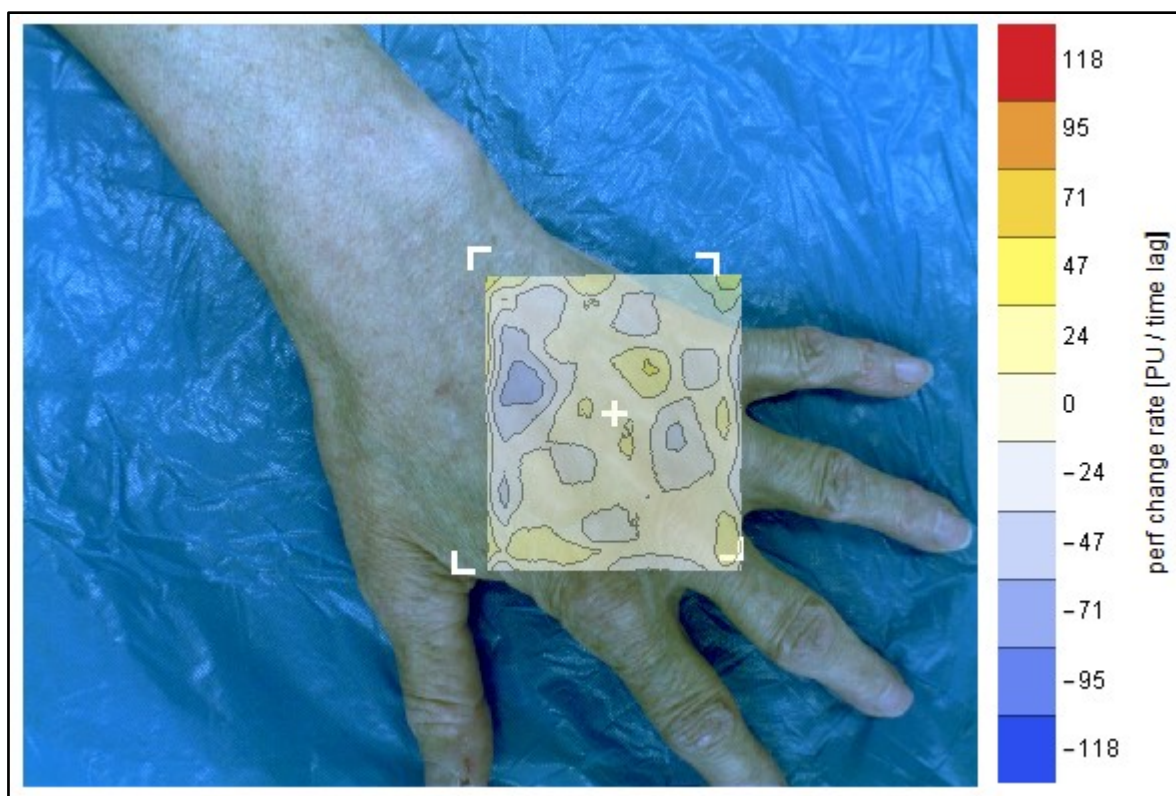


obr. 1: diferenční sken mezi prvním a druhým snímkem probanda č. 2



obr. 2: diferenční sken mezi prvním a druhým snímkem probanda č. 3





obr. 3: diferenční sken mezi prvním a druhým snímkem probanda č. 4

Příloha č. 5: Záznamy o měření ze třetího měření.

# Záznam o měření

|   |            |
|---|------------|
| Datum měření: 14. 2. 2015                         |            |
| Jméno: <b>proband č. 1</b>                        | Věk: 7 let |
| Aktuální onemocnění:                              |            |
| Chronická onemocnění: viz. kapitola 8.1 (str. 22) |            |
| Užívané léky: viz. kapitola 8.1 (str. 22)         |            |
| Jiné poznámky: tlak krve byl 95/66 [mm Hg]        |            |

tab. 1: relevantní údaje týkající se probanda ve vztahu k měření

| Čas<br>(hh:mm) | Tělesná<br>teplota [°C] | Teplota<br>snímané<br>oblasti [°C] | Teplota<br>snímané<br>oblasti [°C] | Teplota<br>v místnosti [°C] | Relativní vlhkost<br>v místnosti [%] |
|----------------|-------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| 14:30          | 36,6                    | 36,4                               | 32,850                             | 24,3                        | 18,4                                 |
| 14:45          | 36,6                    | 36,4                               | 32,829                             | 24,5                        | 19,6                                 |
|                |                         |                                    |                                    |                             |                                      |
|                |                         |                                    |                                    |                             |                                      |

tab. 2: čas měření, tělesné údaje probanda, podmínky v místnosti

| Teplota [°C]     | Přízemní teplota [°C] | Rychlost větru [m/s] | Max. rychlost větru [m/s] |
|------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------|
| 8                | 14                    | 2,5                  | 6                         |
| Rel. vlhkost [%] | Tlak vzduchu [hPa]    | Srážky [mm]          |                           |
| 43               | 1015,2                | 0                    |                           |

tab. 3: aktuální stav počasí Ostrava – Poruba



# Záznam o měření

|   |             |
|---|-------------|
| Datum měření: 14. 2. 2015                         |             |
| Jméno: <b>proband č. 2</b>                        | Věk: 28 let |
| Aktuální onemocnění:                              |             |
| Chronická onemocnění: viz. kapitola 8.1 (str. 22) |             |
| Užívané léky: viz. kapitola 8.1 (str. 22)         |             |
| Jiné poznámky: tlak krve byl 98/63 [mm Hg]        |             |

tab. 1: relevantní údaje týkající se probanda ve vztahu k měření

| Čas<br>(hh:mm) | Tělesná<br>teplota [°C] | Teplota<br>snímané<br>oblasti [°C] | Teplota<br>snímané<br>oblasti [°C] | Teplota<br>v místnosti [°C] | Relativní vlhkost<br>v místnosti [%] |
|----------------|-------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| 14:34          | 37,2                    | 36,6                               | 34,062                             | 24,4                        | 8,6                                  |
| 14:49          | 36,7                    | 36,7                               | 34,341                             | 24,5                        | 18,6                                 |
|                |                         |                                    |                                    |                             |                                      |
|                |                         |                                    |                                    |                             |                                      |

tab. 2: čas měření, tělesné údaje probanda, podmínky v místnosti

| Teplota [°C]     | Přízemní teplota [°C] | Rychlost větru [m/s] | Max. rychlost větru [m/s] |
|------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------|
| 8                | 14                    | 2,5                  | 6                         |
| Rel. vlhkost [%] | Tlak vzduchu [hPa]    | Srážky [mm]          |                           |
| 43               | 1015,2                | 0                    |                           |

tab. 3: aktuální stav počasí Ostrava – Poruba

# Záznam o měření

|   |             |
|---|-------------|
| Datum měření: 14. 2. 2015                         |             |
| Jméno: <b>proband č. 3</b>                        | Věk: 28 let |
| Aktuální onemocnění:                              |             |
| Chronická onemocnění: viz. kapitola 8.1 (str. 22) |             |
| Užívané léky: viz. kapitola 8.1 (str. 22)         |             |
| Jiné poznámky: tlak krve byl 107/63 [mm Hg]       |             |

tab. 1: relevantní údaje týkající se probanda ve vztahu k měření

| Čas<br>(hh:mm) | Tělesná<br>teplota [°C] | Teplota<br>snímané<br>oblasti [°C] | Teplota<br>snímané<br>oblasti [°C] | Teplota<br>v místnosti [°C] | Relativní vlhkost<br>v místnosti [%] |
|----------------|-------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| 14:42          | 37,0                    | 36,5                               | 33,340                             | 24,4                        | 18,6                                 |
| 14:57          | 37,0                    | 36,5                               | 33,447                             | 24,4                        | 21,1                                 |
|                |                         |                                    |                                    |                             |                                      |
|                |                         |                                    |                                    |                             |                                      |

tab. 2: čas měření, tělesné údaje probanda, podmínky v místnosti

| Teplota [°C]     | Přízemní teplota [°C] | Rychlost větru [m/s] | Max. rychlost větru [m/s] |
|------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------|
| 8                | 14                    | 2,5                  | 6                         |
| Rel. vlhkost [%] | Tlak vzduchu [hPa]    | Srážky [mm]          |                           |
| 43               | 1015,2                | 0                    |                           |

tab. 3: aktuální stav počasí Ostrava – Poruba

# Záznam o měření

|   |             |
|---|-------------|
| Datum měření: 14. 2. 2015                         |             |
| Jméno: <b>proband č. 4</b>                        | Věk: 72 let |
| Aktuální onemocnění:                              |             |
| Chronická onemocnění: viz. kapitola 8.1 (str. 22) |             |
| Užívané léky: viz. kapitola 8.1 (str. 22)         |             |
| Jiné poznámky: tlak krve byl 114/57 [mm Hg]       |             |

tab. 1: relevantní údaje týkající se probanda ve vztahu k měření

| Čas<br>(hh:mm) | Tělesná<br>teplota [°C] | Teplota<br>snímané<br>oblasti [°C] | Teplota<br>snímané<br>oblasti [°C] | Teplota<br>v místnosti [°C] | Relativní vlhkost<br>v místnosti [%] |
|----------------|-------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| 14:38          | 36,7                    | 37,2                               | 34,801                             | 24,3                        | 18,9                                 |
| 14:53          | 36,2                    | 37,0                               | 34,645                             | 24,4                        | 19,5                                 |
|                |                         |                                    |                                    |                             |                                      |
|                |                         |                                    |                                    |                             |                                      |

tab. 2: čas měření, tělesné údaje probanda, podmínky v místnosti

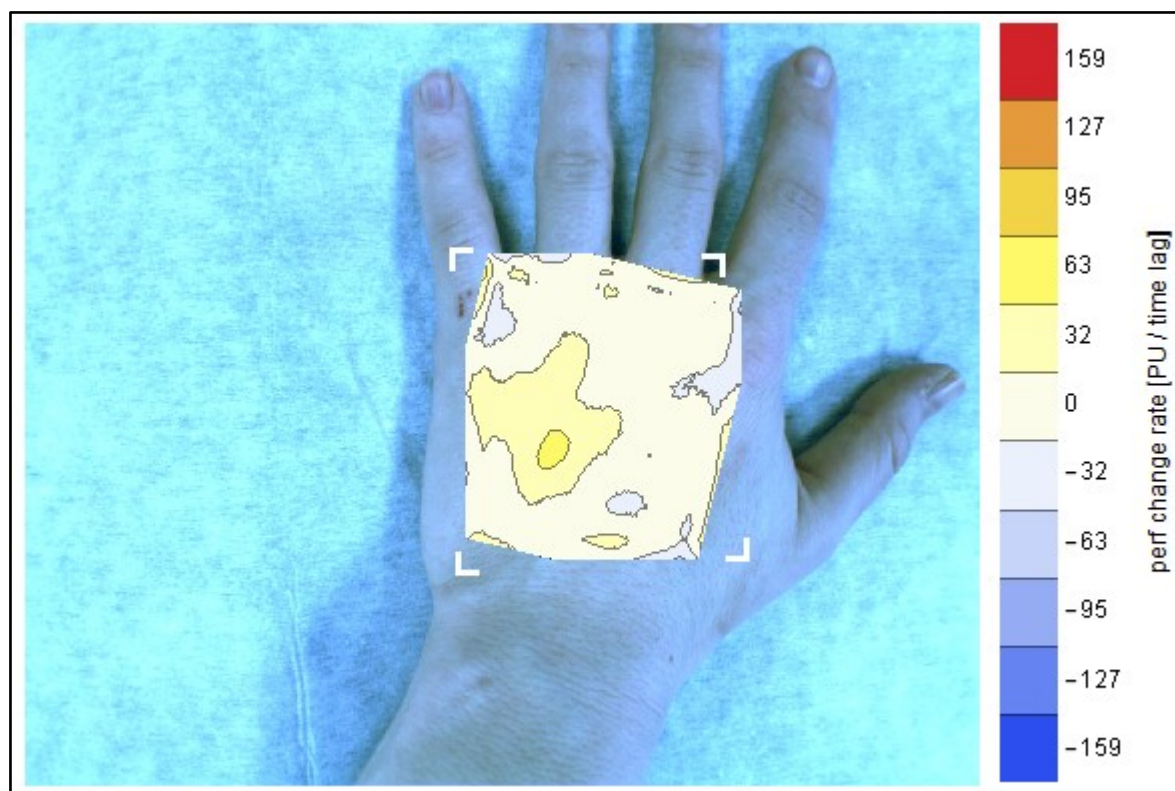
| Teplota [°C]     | Přízemní teplota [°C] | Rychlost větru [m/s] | Max. rychlost větru [m/s] |
|------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------|
| 8                | 14                    | 2,5                  | 6                         |
| Rel. vlhkost [%] | Tlak vzduchu [hPa]    | Srážky [mm]          |                           |
| 43               | 1015,2                | 0                    |                           |

tab. 3: aktuální stav počasí Ostrava – Poruba

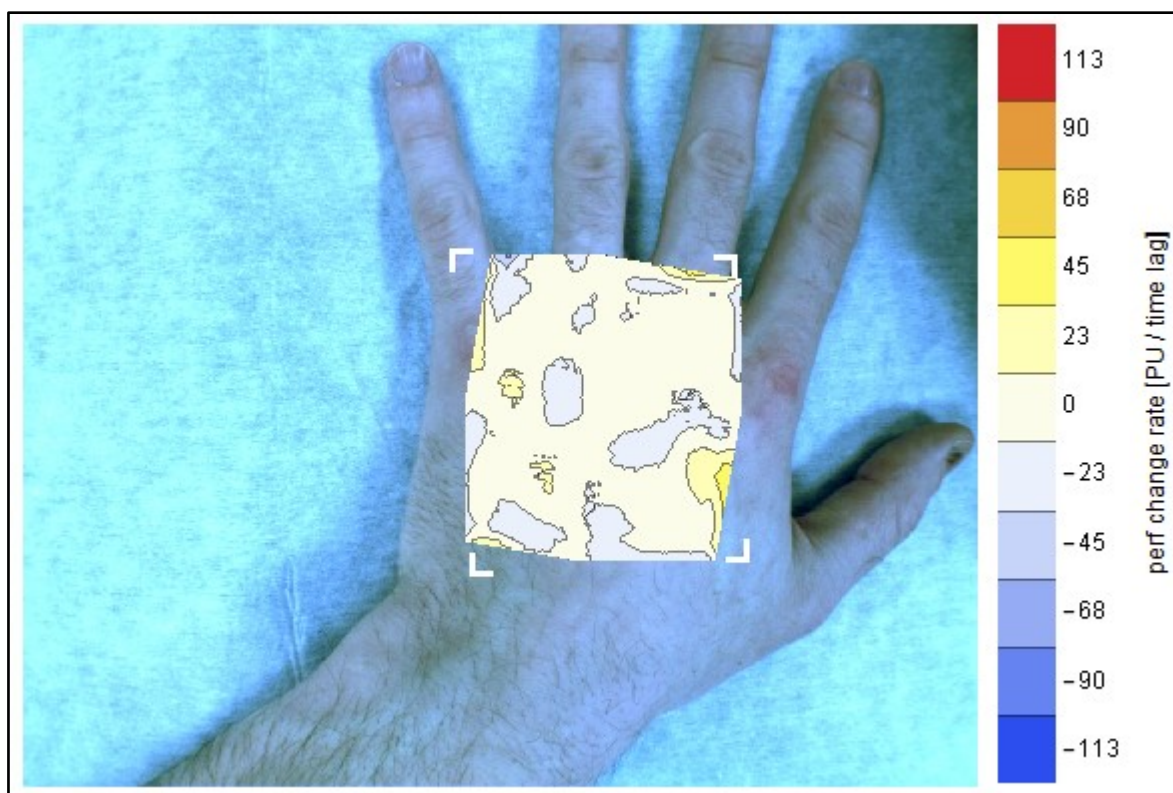
**Příloha č. 6: Diferenční skeny ze třetího měření (PIPPA, resp. DSPTA).**



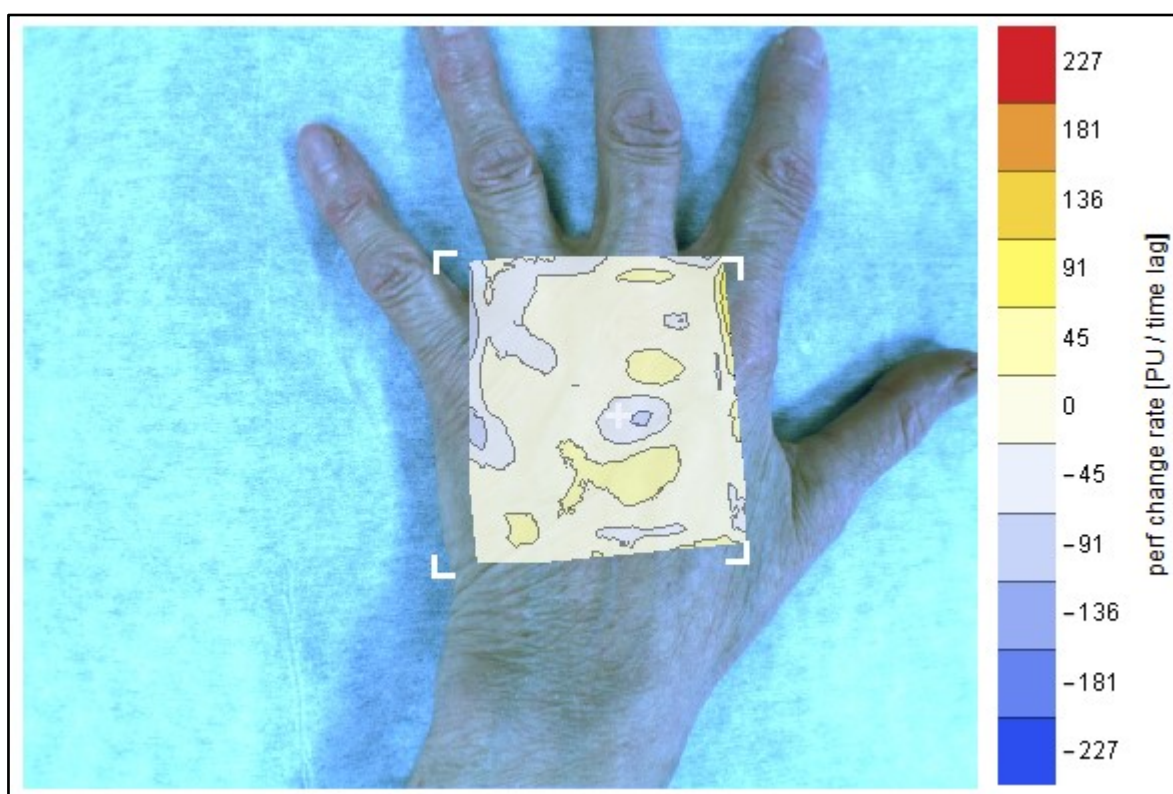
obr. 1: diferenční sken mezi prvním a druhým snímkem probanda č. 1



obr. 2: diferenční sken mezi prvním a druhým snímkem probanda č. 2



obr. 3: diferenční sken mezi prvním a druhým snímkem probanda č. 3



obr. 4: diferenční sken mezi prvním a druhým snímkem probanda č. 4